

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.04.06 Мехатроника и робототехника
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка программно-аппаратного комплекса для управления роботом-манипулятором с техническим зрением

УДК 004.896:004.932:632.51

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8EM71	Киль Николай Викторович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	К.Т.Н		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов А.В.	К.Х.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Сосковец Л.И.	Д.И.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Атепаева Н.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Малышенко А.М.	Д.Т.Н., профессор		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов С.В.	К.Т.Н		

Планируемые результаты обучения ООП

Код рез-та	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
P1	Применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и систем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств	Требования ФГОС (ПК-2, ПК3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P6	Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные</i>		
P7	Эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды	Требования ФГОС (ПК-1, ПК2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК9), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на	Требования ФГОС (ПК-5, ПК8, ПК-15, ПК-16, ПК-18, ОПК1, ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEAN

	социальный контекст и окружающую среду	
P10	Следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-8, ПК11, ПК-16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК8, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники

Направление подготовки – 15.04.06 Мехатроника и робототехника

Уровень образования – Магистратура

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – Весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.05.2019	Разработка программного обеспечения	30
25.05.2019	Разработка аппаратной части	30
31.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
31.05.2019	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Мальшненко А.М.	д.т.н., профессор		

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Разработка алгоритма управления роботом-манипулятором. Разработка программного обеспечения.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Электрическая принципиальная схема.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Сосковец Любовь Ивановна, профессор ОСГН ШБИП, д.и.н
Социальная ответственность	Атепаева Наталья Александровна, старший преподаватель ООД ШБИП
Раздел на иностранном языке	Пичугова Инна Леонидовна, старший преподаватель ОИЯ ШБИП
Нормконтроль	Суханов Алексей Викторович, доцент ОАР ИШИТР, к.х.н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. Робот-манипулятор	
2. Решение обратной задачи кинематики	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	1.01.2019
---	-----------

Задание выдал руководитель / консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ71	Киль Николай Викторович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЕМ71	Килью Николаю Викторовичу

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.06 Мехатроника и робототехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Материалы и оборудование 3428 руб; Заработная плата 38841 руб; Накладные расходы 20117 руб; Отчисления на социальные нужды 7290 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Человеческие ресурсы – 2 человека
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	27,1% – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности программно-аппаратного комплекса для управления роботом-манипулятором

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации
4. График проведения и бюджет НТИ
5. Диаграмма Ганта
6. Расчёт денежного потока
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Сосковец Любовь Ивановна	д.и.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ71	Киль Николай Викторович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЕМ71	Килё Николаю Викторовичу

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.06 Мехатроника и робототехника

Тема ВКР:

Разработка программно-аппаратного комплекса для управления роботом-манипулятором с техническим зрением	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектами исследования являются программное обеспечение и печатная плата, которые применяются для управления роботом-манипулятором.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	ГОСТ 12.2.032-78. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Анализ выявленных вредных факторов: – отклонение показателей микроклимата; – недостаточная освещённость рабочей зоны и отсутствие или недостаток естественного света; – превышение уровня шума; – опасные и вредные производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими тканями тела человека; – опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха (в том числе пониженной или повышенной ионизацией) и (или) аэрозольным составом воздуха.

	<p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; – опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека.
3. Экологическая безопасность:	В работе проведён анализ воздействия на литосферу и атмосферу (образование отходов при выходе из строя ПК и возникновения отходов при пайке).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	В аудиторном помещении возможно ЧС техногенного характера – пожар (возгорание).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Атепаева Н.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ71	Киль Николай Викторович		

Реферат

Пояснительная записка содержит 119 стр., 36 таблиц, 26 рисунков, 14 источников, 6 приложений.

Ключевые слова: робот-манипулятор, техническое зрение, обратная задача кинематики, программно-аппаратный комплекс, печатная плата.

Объектом исследования является программно-аппаратный комплекс для управления положением манипулятора.

Цель работы – разработка программно-аппаратного комплекса для управления роботом-манипулятором с техническим зрением.

В результате выполнения работы достигнуты все цели и задачи: решена обратная задача кинематики несколькими методами и выбрано лучшее решение, разработаны программный код и печатная плата для управления роботом-манипулятором, выполнено тестирование на физической модели.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 7.0, программный код разработан в средах разработки Visual Studio 2012 и Arduino, моделирование методов решения обратной задачи кинематики произведено в среде Matlab, создание чертежей произведено в Splan7.0. Схемы разработаны в графическом редакторе Visio 2013.

Содержание

Введение.....	15
1 Робот-манипулятор	16
1.1 Параметры робота-манипулятора.....	16
1.2 Шаговый двигатель.....	18
1.3 Микросхема L293D.....	20
1.4 Расчет быстродействия контура	22
1.5 Оптопара	23
2 Решение обратной задачи кинематики	25
2.1 Геометрический подход.....	25
2.2 Метод штрафных функций.....	27
2.3 Метод FABRIK.....	29
2.4 Иерархически подход.....	30
2.5 Сравнение методов.....	33
3 Структурная схема	34
4 Функциональная схема	36
5 Программное обеспечение	37
5.1 Написание программы для Arduino.....	37
5.2 Интерфейс пользователя	38
5.3 Техническое зрение.....	40
6 Печатная плата.....	41
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 43	
7.1 Преддипломный анализ.....	43
7.1.1 Потенциальные потребители результата.....	43
7.1.2 Анализ конкурентных технических решений	44
7.1.3 SWOT-анализ.....	45
7.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	47
7.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	49
7.2 Инициация проекта	49

7.2.1 Цели и результаты проекта	50
7.2.2 Ограничения и допущения проекта.....	51
7.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	51
7.3.1 Иерархическая структура работ проекта	51
7.3.2 План проекта.....	52
7.3.3 Бюджет научного исследования	54
7.3.4 Организационная структура проекта	60
7.3.5 План управления коммуникациями проекта	60
7.3.6 Реестр рисков проекта	61
7.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.	62
7.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования.....	62
7.4.1.1 Чистая текущая стоимость (NPV)	62
7.4.2 Оценка сравнительной эффективности исследования	66
8 Социальная ответственность	70
8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	70
8.1.1 Правовые нормы трудового законодательства	70
8.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	71
8.2 Производственная безопасность.....	73
8.2.1 Отклонение показателей микроклимата.....	74
8.2.2 Недостаточная освещённость рабочей зоны и отсутствие или недостаток естественного света.....	75
8.2.3 Превышение уровня шума	76
8.2.4 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека.....	77
8.2.5 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха (в том числе пониженной или повышенной ионизацией) и (или) аэрозольным составом воздуха	78

8.2.6 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	78
8.3 Экологическая безопасность.....	79
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	81
8.4.1 Пожарная безопасность	81
Заключение	84
Список использованных источников	85
Приложение А. Раздел на иностранном языке.....	87
Приложение Б. Листинг решения обратной задачи кинематики методом FABRIK	106
Приложение В. Листинг программы Arduino	109
Приложение Г. Листинг программы интерфейса	112
Приложение Д. Листинг программы технического зрения	115
Приложение Е. Электрическая принципиальная схема	118

Введение

Робот-манипулятор представляет собой устройство, состоящее из механической руки и перепрограммируемой системы управления, который применяется для перемещения объектов в пространстве и для выполнения разных производственных процессов.

Робот-манипулятор является важным компонентом автоматизированных гибких производственных систем, который позволяет увеличить производительность труда.

В России и в мире наблюдается расширение рынка робототехники, так согласно отчету Национальной Ассоциации участников рынка робототехники (НАУРР), за 2018 год в России было установлено 860 промышленных роботов, что на 21 % больше, чем за 2017 год [1].

Помимо ввода в эксплуатацию новых единиц робототехники, так же существует задача поддержания функционирования старых моделей промышленных роботов. В то время, когда программное обеспечение и элементная база системы управления устаревают морально и физически, механическая часть робота остается актуальной и работоспособной. В связи с этим, предлагается разработка новой системы управления взамен устаревшей.

Целью данной работы является разработка программно-аппаратного комплекса для управления роботом-манипулятором.

Блок управления для рассматриваемой модели манипулятора устарел морально и физически, поэтому было решено модернизировать имеющуюся систему управления. Модернизация предполагает использование более доступного программного обеспечения, возможность последующего добавления функций и возможностей манипулятору, введение дополнительного программного ограничения на перемещение звеньев и добавление автоматического режима работы.

1 Робот-манипулятор

1.1 Параметры робота-манипулятора

Манипулятор имеет параметры в соответствии с таблицей 1.1.1.

Таблица 1.1.1 – Характеристики робота-манипулятора

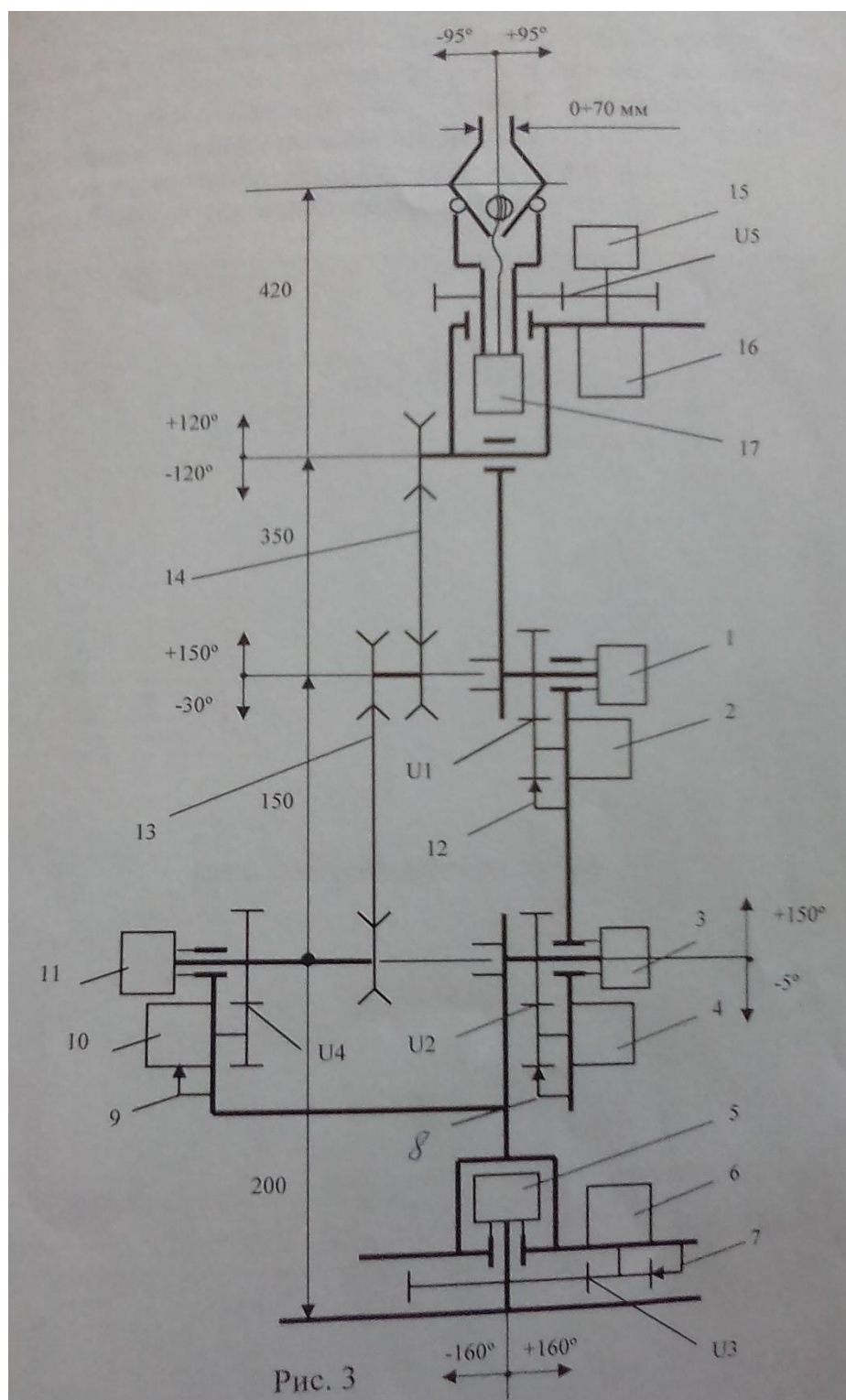
Количество степеней свободы	5+схват
Максимальный вылет кисти	420 мм
Углы поворота звеньев	
Основание	(минус 130 – 130)°
Плечо	(минус 30 – 130)°
Локоть	(минус 30 – 130)°
Наклон кисти	(минус 130 – 50)°
Поворот кисти	(минус 95 – 95)°
Грузоподъемность при максимальном вылете	100 г
Величина раскрытия схвата	(0 – 70) мм
Минимальный шаг поворота по осям	
Основание	0,06°
Плечо	0,06°
Предплечье	0,06°
Наклон кисти	0,3°
Вращение кисти	0,01°
Питание	12 В
Длина основания	196 мм
Длина плеча	160 мм
Длина предплечья	180 мм

Внешний вид данного манипулятора представлен на рисунке 1.1.1.



Рисунок 1.1.1 – Манипулятор

Схематичное изображение манипулятора представлено на рисунке 1.1.2.



1,3,5,11,15 – потенциометры СП5-21; 2,4,6,10,16 – шаговые двигатели;
13,14 – тросовая передача; 17 – мотор-редуктор; 7,8,9,12 – нуль-контакт.

Рисунок 1.1.2 – Схема манипулятора

1.2 Шаговый двигатель

Шаговый двигатель – это синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора [2]. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения (шаги) ротора (рисунок 1.2.1).



Рисунок 1.2.1 – Шаговый двигатель

Рассчитаем необходимые моменты двигателей для основания, плеча и предплечья при максимальном вылете кисти. В этом случае требования к двигателям будут максимальные.

Согласно таблице 1.1.1 максимальный вылет кисти равен 420 мм. Для удобства, примем массу звеньев и груза равной 5 кг.

Рассчитаем момент по формуле (1):

$$M1 = F \cdot r = m \cdot (g + a) \cdot r, \quad (1)$$

где $M1$ – момент первого звена, Н · м;

F – сила, Н;

r – плечо, м;

m – масса, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

a – требуемое ускорение звена, м/с².

Таким образом, $M1 = 5 \cdot (10 + 0,8) \cdot 0,42/2 = 11,34 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Так как в конструкции манипулятора используются зубчатые передачи, то полученное значение необходимо уменьшить в соответствии с

передаточным отношением ($\mu = 30$). Получим, что шаговый двигатель, отвечающий за движения плеча, должен обладать моментом не менее $M1 = 0,38 \text{ Н} \cdot \text{м} = 3,80 \text{ кг} \cdot \text{см}$.

Аналогично рассчитаем момент для двигателя предплечья. Расстояние между точкой опоры и грузом равно 260 мм (таблица 1.1). Массу звеньев и груза примем равной 3 кг.

$$M2 = F \cdot r = m \cdot (g + a) \cdot r,$$

где $M2$ – момент второго звена, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

$$\text{Таким образом, } M2 = 3 \cdot (10 + 0,8) \cdot 0,26/2 = 4,21 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

В предплечье так же используются зубчатые передачи с передаточным отношением $\mu = 30$. Следовательно, $M2 = 0,14 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1,40 \text{ кг} \cdot \text{см}$.

Для расчета момента для двигателя основания возьмем массу плеча и предплечья равным 5 кг и расстояние 420 мм. Массу основания примем равной 10 кг с расстоянием 20 мм.

$$M0 = F \cdot r = m \cdot (g + a) \cdot r,$$

где $M0$ – момент основания, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

$$\text{Таким образом, } M0 = 5 \cdot (0 + 0,8) \cdot 0,42/2 + 10 \cdot (0 + 0,8) \cdot 0,02/2 = 0,92 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Передаточное отношение передач основания равно $\mu = 30$. Следовательно, $M0 = 0,03 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0,3 \text{ кг} \cdot \text{см}$.

В рассматриваемом манипуляторе используются двигатели, указанные в таблице 1.2.1. Следовательно, можно сделать вывод о том, что имеющиеся двигатели не нуждаются в замене.

Таблица 1.2.1 – Двигатели

Наименование	Ток/фаза	Сопротивление/фаза	Индуктивность/фаза	Крутящий момент	Длина	Момент инерции ротора	Вес
	А	Ом	мГн	кг · см	мм	г · см ²	кг
FL42STH47-0406A	0,4	30	25	3,17	48	68	0,35
FL57ST56-0606A	0,6	20	32	6,05	56	135	0,65

Биполярный шаговый двигатель имеет две обмотки и, соответственно, подключается по четырём проводам. Концы первой обмотки обозначим буквами "a" и "b", а концы второй обмотки буквами "c" и "d".

Для того, чтобы биполярный шаговый двигатель вращался, необходимо запитывать обмотки в порядке, указанном в таблице 1.2.2. Если направление обхода таблицы выбрать сверху вниз по кругу, то двигатель будет вращаться вперёд, если снизу вверх — двигатель будет вращаться назад.

Таблица 1.2.2 – Порядок подключения обмоток

Комбинация	Обмотка 1		Обмотка 2	
	a	b	c	d
1	+	-	+	-
2	-	+	+	-
3	-	+	-	+
4	+	-	-	+

После прохождения этого цикла двигатель делает один шаг.

Для смены полярности напряжения на обмотках удобнее всего использовать специальные драйверы для шаговых двигателей. Рассмотрим микросхему L293D.

1.3 Микросхема L293D

L293D содержит сразу два драйвера для управления электродвигателями небольшой мощности (четыре независимых канала, объединенных в две пары). Имеет две пары входов для управляющих сигналов и две пары выходов для подключения электромоторов. Кроме того, у L293D есть два входа для включения каждого из драйверов. Эти входы используются для управления скоростью вращения электромоторов с помощью широтно-модулированного сигнала (ШИМ).

L293D обеспечивает разделение электропитания для микросхемы и для управляемых ею двигателей, что позволяет подключить электродвигатели с большим напряжением питания, чем у микросхемы. Разделение электропитания микросхем и электродвигателей может быть также

необходимо для уменьшения помех, вызванных бросками напряжения, связанными с работой моторов.

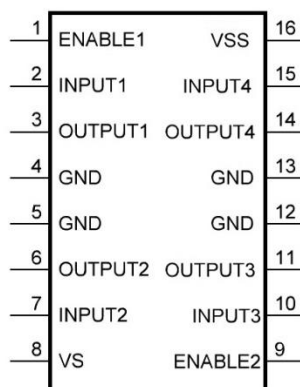


Рисунок 1.3.1 – Драйвер L293D

- Входы ENABLE1 и ENABLE2 отвечают за включение каждого из драйверов, входящих в состав микросхемы.
- Входы INPUT1 и INPUT2 управляют обмоткой, подключенной к выходам OUTPUT1 и OUTPUT2.
- Входы INPUT3 и INPUT4 управляют обмоткой, подключенной к выходам OUTPUT3 и OUTPUT4.
- Контакт VS соединяют с положительным полюсом источника электропитания двигателей или просто с положительным полюсом питания, если питание схемы и двигателей единое. Проще говоря, этот контакт отвечает за питание электродвигателей.
- Контакт VSS соединяют с положительным полюсом источника питания. Этот контакт обеспечивает питание самой микросхемы.
- Четыре контакта GND соединяют с "землей" (общим проводом или отрицательным полюсом источника питания). Кроме того, с помощью этих контактов обычно обеспечивают теплоотвод от микросхемы.

Таблица 1.3.1 – Характеристики L293D

Напряжение питания двигателей (Vs)	Напряжение питания микросхемы (Vss)	Допустимый ток нагрузки	Максимальный ток на выходе	Скорость переключения
В	В	мА	А	кГц
4,5 – 36	5	600	1,2	до 5

Учитывая характеристики используемых двигателей (таблица 1.2.1) и характеристик драйвера (таблица 1.3.1), можно сделать вывод о том, что при напряжении питания 12 В нет необходимости в дополнительной защите от избыточного тока, так как он не превысит максимально допустимое значение, определенное по формуле (2):

$$I = \frac{U_{\text{пит}}}{R_{\text{я}}} = \frac{12}{20} = 0,6 \text{ А} \quad (2)$$

где I – ток, А;

$U_{\text{пит}}$ – напряжение питания двигателей, В;

$R_{\text{я}}$ – сопротивление якоря.

1.4 Расчет быстродействия контура

Найдем электромеханическую постоянную шагового двигателя FL57ST56-0606A (таблица 1.2.1) по формуле (3):

$$T_1 = \frac{L}{R} = \frac{0,032}{20} = 0,0016 \text{ с}, \quad (3)$$

где T_1 – электромеханическая постоянная времени, с;

L – индуктивность якоря, Гн;

R – сопротивление якоря, Ом.

Найдем частоту, используя формулу (4):

$$\vartheta = \frac{1}{T_1} = 625, \quad (4)$$

где ϑ – частота, Гц;

Полученное число означает сколько раз обмотка двигателя способна отработать за одну секунду.

Согласно теореме Котельникова «любую функцию $F(t)$, состоящую из частот от 0 до f , можно непрерывно передавать с любой точностью при помощи чисел, следующих друг за другом через $1/(2f)$ секунд». Иными словами, для правильной работы двигателя полученное значение необходимо уменьшить не менее чем в 2 раза. $\vartheta = 312,5$.

Так же, согласно таблице 1.2.2, обмотки меняют свою полярность два раза за цикл. Таким образом, значение частоты следует уменьшить еще в два раза. $\vartheta \approx 156$.

За один цикл двигатель проворачивается на $1,8^\circ$. Полный оборот двигатель совершит за 200 таких циклов. Максимальная скорость поворота

$$\omega_1 = \frac{\vartheta}{200} \approx 0,75 \text{ об/сек} = 45 \text{ об/мин.}$$

Данный тип двигателя используется в плече.

Аналогично находится максимальная скорость второго двигателя FL42STH47-0406A:

$$T_2 = \frac{L}{R},$$
$$\vartheta_2 = \frac{1}{T_2} = 1200.$$

Согласно теореме Котельникова и смене полярности дважды за цикл, уменьшим полученное значение суммарно в 4 раза. $\vartheta_2 = 300$ Гц.

Данный двигатель так же совершает полный оборот за 200 циклов, поэтому максимальная скорость поворота $\omega_2 = 1,5 \text{ об/сек} = 90 \text{ об/мин.}$

Данный тип двигателя используется в основании и предплечье.

1.5 Оптопара

Так как шаговые двигатели могут перемещаться только на некоторое количество шагов относительно предыдущего положения, то существует проблема принятия стартового (или начального) положения. Для решения данной проблемы в манипуляторе присутствуют щелевые оптопары.

Оптопара – электронный прибор, состоящий из излучателя света и фотоприёмника (биполярных и полевых фототранзисторов, фотодиодов, фототиристор, фоторезисторов), связанных оптическим каналом и, как правило, объединённых в общем корпусе. Принцип работы оптопары заключается в преобразовании электрического сигнала в свет, его передаче по оптическому каналу и последующем преобразовании обратно в электрический сигнал.

Схема оптопары представлена на рисунке 1.5.1.

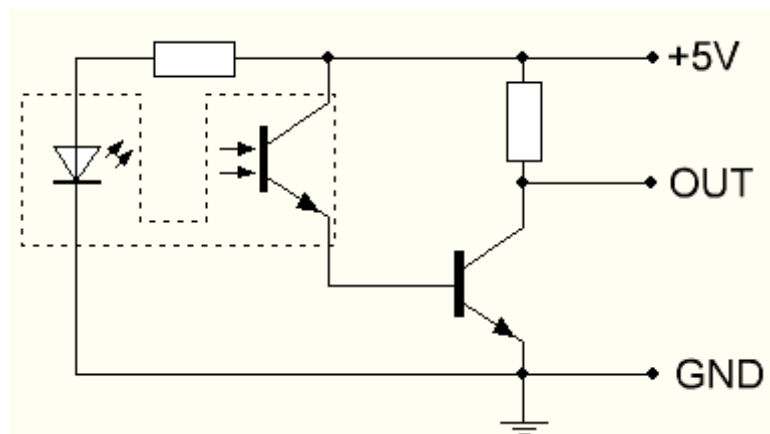


Рисунок 1.5.1 – Схема оптопары

Если ничего не преграждает фотоприемник, то на выходе будет высокое напряжение, иначе – низкое. В качестве преграды используется образцовый диск, который загораживает свет от излучателя, если звено манипулятора находится вне начального положения. Пример образцового диска представлен на рисунке 1.5.2.

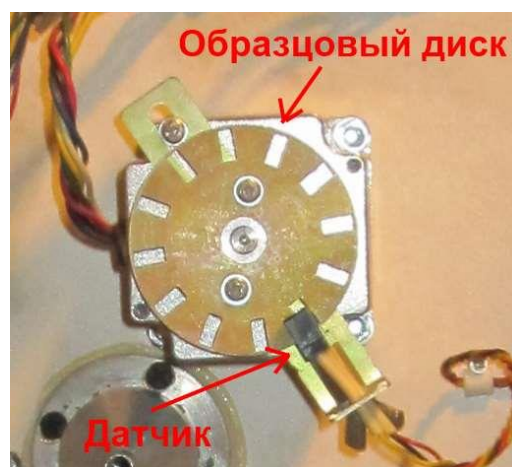


Рисунок 1.5.2 – Пример использования щелевой оптопары

2 Решение обратной задачи кинематики

В робототехнике, есть две основные задачи кинематики: прямая и обратная.

Прямая задача – это вычисление положения рабочего органа манипулятора по его кинематической схеме и заданной ориентации его звеньев.

Обратная задача — это вычисление углов поворота звеньев по заданному положению рабочего органа и известной схеме кинематики манипулятора.

В настоящее время разработано множество методов, способных решить ОЗК для манипуляторов. Рассмотрим некоторые из них.

2.1 Геометрический подход

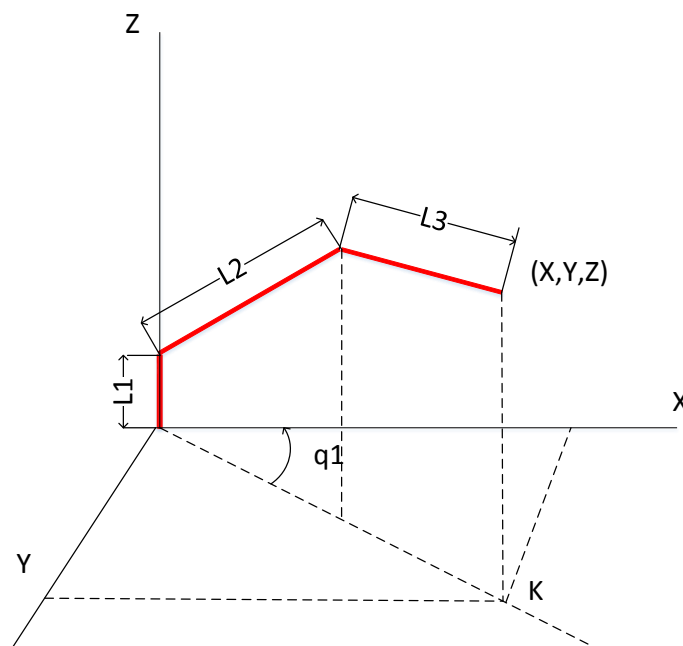


Рисунок 2.1.1 – Манипулятор в координатах XYZ

Решить прямую задачу кинематики для данного манипулятора (рисунок 2.1.1) можно с помощью уравнений (5) – (7):

$$x = l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \cos(q_1) + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \cos(q_1); \quad (5)$$

$$y = l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \sin(q_1) + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \sin(q_1); \quad (6)$$

$$z = l_1 + l_2 \cdot \sin(q_2) + l_3 \cdot \sin(q_3), \quad (7)$$

где x, y, z – координаты рабочего органа;

l_1, l_2, l_3 – длины звеньев манипулятора;

q_1, q_2, q_3 – углы поворота звеньев манипулятора.

Угол q_1 находится с помощью уравнений (5) и (6). Вынесем из уравнений за скобку $\cos(q_1)$ и $\sin(q_1)$ соответственно, разделим уравнение (2) на (1) и получим уравнения (8) и (9):

$$\frac{y}{x} = \operatorname{tg}(q_1), \quad (8)$$

$$q_1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{y}{x}\right). \quad (9)$$

Зная q_1 , можно перейти в плоскость KZ (рисунок 2.1.2):

$$K = \frac{x}{\cos(q_1)} = \frac{y}{\sin(q_1)}. \quad (10)$$

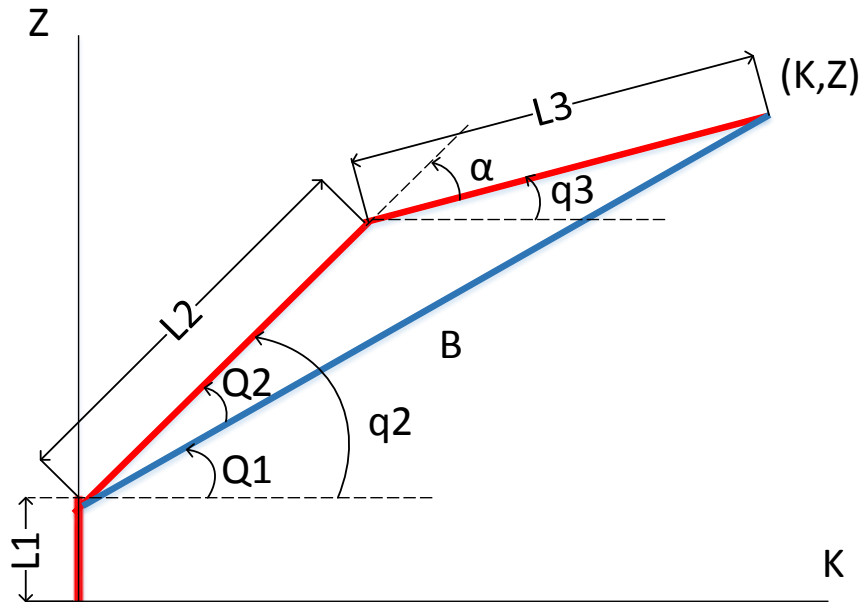


Рисунок 2.1.2 – Манипулятор в плоскости KZ

Проведем линию В, соединяющую начало второго звена и конец третьего. Длина линии В находится по формуле (11):

$$B = \sqrt{(z - l_1)^2 + \left(\frac{x}{\cos(q_1)}\right)^2}. \quad (11)$$

Угол $Q1$ находится из соотношения (12).

$$Q1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{z - l_1}{\frac{x}{\cos(q_1)}}\right). \quad (12)$$

Угол $Q2$ можно найти при помощи теоремы косинусов, по формуле (13):

$$Q2 = \arccos\left(\frac{L2^2 - L3^2 + B^2}{2 \cdot B \cdot L2}\right). \quad (13)$$

Складываем $Q1$ и $Q2$ и получаем $q2$.

$$q2 = Q1 + Q2.$$

При определении угла $q3$ так же используем теорему косинусов.

Формула расчета представлена в (14):

$$q3 = q2 - \left(\pi - \arccos\left(\frac{L2^2 + L3^2 - B^2}{2 \cdot L2 \cdot L3}\right) \right). \quad (14)$$

Листинг программы для решения обратной задачи кинематики геометрическим подходом представлен на рисунке 2.1.3.

```
tic;
x=15;y=10;z=15;
l1=5;l2=20;l3=20;
q1=atan(y/x);
B=sqrt((z-l1)^2+(x/cos(q1))^2);
Q1=atan((z-l1)/(x/cos(q1)));
Q2=acos((l2^2-l3^2+B^2)/(2*B*l2));
q2=Q1+Q2;
q3=q2-(pi-acos((l2^2+l3^2-B^2)/(2*l2*l3)));
q11=q1*180/pi
q22=q2*180/pi
q33=q3*180/pi
x=l2*cos(q22*pi/180)*cos(q11*pi/180)+l3*cos(q33*pi/180)*cos(q11*pi/180)
y=l2*cos(q22*pi/180)*sin(q11*pi/180)+l3*cos(q33*pi/180)*sin(q11*pi/180)
z=l1+sin(q22*pi/180)*l2+l3*sin(q33*pi/180)
t1=toc
```

Рисунок 2.1.3 – Листинг программы

2.2 Метод штрафных функций

Метод штрафных функций относятся к группе непрямых методов решения задач нелинейного программирования. Рассмотрим методику применения метода штрафных функций для решения обратной задачи кинематики манипулятора, схема которого представлена на рисунке 1.2.

Координаты положения схвата определяются из соотношений (5) – (7):

$$x = l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \cos(q_1) + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \cos(q_1);$$

$$y = l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \sin(q_1) + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \sin(q_1);$$

$$z = l_1 + l_2 \cdot \sin(q_2) + l_3 \cdot \sin(q_3),$$

Рассмотрим критерий J , представленный в (15):

$$J = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i^2 \rightarrow \min. \quad (15)$$

Введем расширенный критерий J_p , представленный в (16):

$$\begin{aligned} J_p = & \frac{1}{2}(q_1^2 + q_2^2 + q_3^2) + \frac{1}{2}(x - l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \cos(q_1) - l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \cos(q_1))^2 + \\ & + \frac{1}{2}(y - l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \sin(q_1) - l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \sin(q_1))^2 + \frac{1}{2}(z - l_1 - l_2 \cdot \sin(q_2) - l_3 \cdot \sin(q_3))^2 \\ & \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (16)$$

Для минимизации расширенного критерия воспользуемся методом градиента. Для этого вычислим частные производные по обобщенным координатам:

$$\begin{aligned} \frac{\partial J_p}{\partial q_1} = & q_1 - (l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \sin(q_1) + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \sin(q_1)) \cdot (l_2 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_2) - \\ & - x + l_3 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_3)) + (l_2 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_2) + l_3 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_3)) \times \\ & \times (l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \sin(q_1) - y + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \sin(q_1)); \\ \frac{\partial J_p}{\partial q_2} = & q_2 + l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot (l_1 - z + l_2 \cdot \sin(q_2) + l_3 \cdot \sin(q_3)) - l_2 \cdot \cos(q_1) \cdot \sin(q_2) \times \\ & \times (l_2 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_2) - x + l_3 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_3)) - l_2 \cdot \sin(q_1) \cdot \sin(q_2) \times \\ & \times (l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \sin(q_1) - y + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \sin(q_1)); \\ \frac{\partial J_p}{\partial q_3} = & q_3 + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot (l_1 - z + l_2 \cdot \sin(q_2) + l_3 \cdot \sin(q_3)) - l_3 \cdot \cos(q_1) \cdot \sin(q_3) \times \\ & \times (l_2 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_2) - x + l_3 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_3)) - l_3 \cdot \sin(q_1) \cdot \sin(q_3) \times \\ & \times (l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \sin(q_1) - y + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \sin(q_1)). \end{aligned}$$

Таким образом, значения обобщенных координат определяются из соотношения (17)

$$\dot{q}_i = -\frac{\partial J_p}{\partial q_i}. \quad (17)$$

Приведенный алгоритм реализован в среде Matlab.

Листинг программы для расчета критерия J_p и частных производных \dot{q}_i представлен на рисунке 2.2.1. Листинг программы расчета нелинейных ограничений-равенств и их градиента показан на рисунке 2.2.2. Основная часть программы представлена на рисунке 2.2.3.

```

function [f,G]=objfungrad(q)
x=10;y=0;z=15;
l1=5;l2=20;l3=20;
f=1/2*((q(1))^2+(q(2))^2+(q(3))^2)+1/2*(x-l2*cos(q(2))*cos(q(1))-
l3*cos(q(3))*cos(q(1)))^2+1/2*(y-l2*cos(q(2))*sin(q(1))-
l3*cos(q(3))*sin(q(1)))^2+1/2*(z-l1-l2*sin(q(2))-l3*sin(q(3)))^2;
G=[q(1)-
(l2*cos(q(2))*sin(q(1))+l3*sin(q(1))*cos(q(3)))*(l2*cos(q(2))*cos(q(1))-
x+l3*cos(q(3))*cos(q(1)))+(l2*cos(q(2))*cos(q(1))+l3*cos(q(3))*cos(q(1)))*(l2
*cos(q(2))*sin(q(1))-y+l3*sin(q(1))*cos(q(3))),
q(2)+l2*cos(q(2))*(l2*sin(q(2))-z+l3*sin(q(3))+l1)-
l2*cos(q(1))*sin(q(2))*(l2*cos(q(1))*cos(q(2))-x+l3*cos(q(1))*cos(q(3))-
l2*sin(q(1))*sin(q(2)))*(l2*cos(q(2))*sin(q(1))-y+l3*cos(q(3))*sin(q(1))),
q(3)+l3*cos(q(3))*(l2*sin(q(2))-z+l3*sin(q(3))+l1)-
l3*cos(q(1))*sin(q(3))*(l2*cos(q(1))*cos(q(2))-x+l3*cos(q(1))*cos(q(3))-
l3*sin(q(1))*sin(q(3)))*(l2*cos(q(2))*sin(q(1))-y+l3*cos(q(3))*sin(q(1)))] ;

```

Рисунок 2.2.1 – Листинг программы расчета критерия и производных

```

function [c,ceq,DC,DCEq] = confun(q)
c=[];
x=10;y=0;z=15;
l1=5;l2=20;l3=20;
ceq(1)=l2*cos(q(2))*cos(q(1))+l3*cos(q(3))*cos(q(1))-x;
ceq(2)=l2*cos(q(2))*sin(q(1))+l3*cos(q(3))*sin(q(1))-y;
ceq(3)=l1+sin(q(2))*l2+l3*sin(q(3))-z;
DC=[];
DCEq=[-l3*cos(q(3))*sin(q(1))-l2*cos(q(2))*sin(q(1)),
l2*cos(q(1))*cos(q(2))+l3*cos(q(1))*cos(q(3)), 0;
-l2*cos(q(1))*sin(q(2)), -l2*sin(q(1))*sin(q(2)), l2*cos(q(2));
-l3*cos(q(1))*sin(q(3)), -l3*sin(q(1))*sin(q(3)), l3*cos(q(3))];

```

Рисунок 2.2.2 – Листинг программы расчета нелинейных ограничений-равенств и их градиента

```

tic;
q0=[0,1.5,0];
options=optimset('LargeScale','off');
options=optimset(options,'GradObj','on','GradConstr','on');
lb=[-5,-5,-5]; ub=[5,5,5];
[q,fval]=fmincon('objfungrad',q0,[],[],[],[],lb,ub,'confun',options)
s=q*180/3.14
x=l2*cos(q(2))*cos(q(1))+l3*cos(q(3))*cos(q(1));
y=l2*cos(q(2))*sin(q(1))+l3*cos(q(3))*sin(q(1));
z=l1+sin(q(2))*l2+l3*sin(q(3));
s=[x,y,z]
t1=toc;

```

Рисунок 2.2.3 – Листинг основной части программы

2.3 Метод FABRIK

Задачей инверсной кинематики является поиск такого набора конфигураций сочленений, который обеспечил бы максимально мягкое, быстрое и точное движение к заданным точкам. Однако, множество существующих ныне методов страдают от таких недостатков как высокая вычислительная сложность и неестественность результирующих поз.

FABRIK (Forward and Backward Reaching Inverse Kinematics) избегает использования вращений и матриц в пользу непосредственного получения точки на прямой. Благодаря этому, вычисление обходится всего несколькими итерациями, имеет низкую стоимость вычислений и визуально естественную позу в результате. FABRIK без проблем справляется с наложением ограничений, а так же использованием нескольких цепей и/или конечных точек. Листинг программы представлен в приложении Б.

2.4 Иерархически подход

Пусть целевые положение и ориентация схвата в системе координат рабочего пространства представлены матрицей преобразования координат T_N :

$$T_N = T_0 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_i \cdot \dots \cdot A_N, \quad (18)$$

где T_N – целевые положение и ориентация схвата;

T_0 – начальные положения и ориентация схвата;

$A_1 \dots A_N$ – матрицы преобразования координат.

Начальное положение исполнительного механизма определяется начальными значениями обобщенных координат q_1, q_2, \dots, q_N .

Решение обратной задачи кинематики заключается в постепенном приближении к заданному положению и ориентации схвата путем изменения (увеличения или уменьшения) значений обобщенных координат в той же последовательности, в которой должны двигаться выбранные сочленения.

Процесс решения является циклическим. На каждом шаге цикла обобщенные координаты выбранных M сочленений перебираются в указанной выше последовательности, над каждой координатой производится ряд действий, описанных ниже.

Каждая обобщенная координата изменяется в соответствии с формулой (19):

$$q_i = q_{i-1} + \text{sign}(q_i) \cdot \Delta q_i. \quad (19)$$

где q_{i-1}, q_i – значения обобщенной координаты на предыдущей и текущей итерациях соответственно;

$sign(q_i)$ – знак приращения обобщенной координаты;

Δq_i – величина приращения обобщенной координаты.

Затем для этой обобщенной координаты производятся следующие проверки:

- проверка влияния обобщенной координаты на расстояние от схвата до цели и/или на ориентацию схвата;
- проверка достижения обобщенной координатой пределов ее изменения, установленных разработчиком.

В зависимости от результатов проверок предпринимаются следующие действия:

1. Если расстояние до цели уменьшилось и/или ориентация схвата стала ближе к желаемой, то дополнительные корректировки не нужны, переходим к следующей обобщенной координате.

2. Если изменение обобщенной координаты привело к удалению от цели или увеличению углового отклонения от целевого положения, но ее значение еще не достигло пределов изменения, знак приращения этой координаты изменяется на противоположный.

3. Если значение обобщенной координаты достигло пределов изменения, то соответствующее ей приращение также меняет свой знак. Если после изменения знака приращения схват по-прежнему удаляется от цели, то происходит отмена последнего изменения обобщенной координаты.

Листинг программы решения обратной задачи кинематики иерархическим подходом представлен на рисунке 2.4.1. Функция поиска ошибки представлена на рисунке 2.4.2.

```

tic;
Tc=[1 0 0 0;0 1 0 0;0 0 1 0; 0 0 0 1];
q1=0.0; q2=-1.57; q3=1.57;
x=15;y=10;z=15;
f=0;
f1=0;
Err=60;
Err=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z);
    while (f~=1)
        q1=q1+0.0001;
        Err1=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z);
        if Err1<Err
            Err=Err1;
        else
            q1=q1-0.0002;
            Err2=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z);
            if Err2<Err
                Err=Err2;
            else
                f=1;
            end
        end
    end
    while (f1~=1)
        q2=q2+0.0001;
        Err1=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z);
        if Err1<Err
            Err=Err1;
        else
            q2=q2-0.0002;
            Err2=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z);
            if Err2<Err
                Err=Err2;
            else
                end
            end
        end
        q3=q3+0.0001;
        Err1=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z);
        if Err1<Err
            Err=Err1;
        else
            q3=q3-0.0002;
            Err2=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z);
            if Err2<Err
                Err=Err2;
            else
                end
            end
        end
        if Err<0.1
            f1=1;
        end
    end
    end
q11=q1*180/pi
q22=-q2*180/pi
q33=(-q3-q2)*180/pi
t1=toc

```

Рисунок 2.4.1 – Листинг программы решения ОЗК иерархическим
подходом


```

function [Err]=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z)
A11=[cos(q1) -sin(q1) 0 0; sin(q1) cos(q1) 0 0;
      0 0 1 0;0 0 0 1];
A12=[1 0 0 0;0 1 0 0;0 0 1 5;0 0 0 1];
A21=[cos(q2) 0 sin(q2) 0 ;0 1 0 0; -sin(q2) 0 cos(q2) 0;
      0 0 0 1];
A22=[1 0 0 20;0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1];
A31=[cos(q3) 0 sin(q3) 0 ;0 1 0 0; -sin(q3) 0 cos(q3) 0;
      0 0 0 1];
A32=[1 0 0 20;0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1];
A1=A11*A12;
A2=A21*A22;
A3=A31*A32;
T=Tc*A1*A2*A3;
Err=sqrt((x-T(1,4))^2+(y-T(2,4))^2+(z-T(3,4))^2);

```

Рисунок 2.4.2 – Функция поиска ошибки

2.5 Сравнение методов

Сравнение методов решения обратной задачи кинематики представлено в таблице 2.5.1.

Таблица 2.5.1 – Сравнение методов решения ОЗК

Метод	Время решения, сек	Использование матриц	Ограничения
Метод штрафных функций	0,2073	-	-
Метод FABRIK	0,1052	-	Для манипуляторов без поступательных степеней подвижности
Иерархический подход	0,3046	+	-
Геометрический подход	0,0013	-	Только для простых конструкций манипуляторов

Самым быстрым является геометрический подход решения ОЗК для данной конструкции манипулятора. Так же данный метод не использует матрицы, расчет которых может быть затруднителен в некоторых языках программирования.

Недостатком геометрического подхода является трудоемкость расчетов для сложных конструкций манипулятора, однако ОЗК для заданной конструкции робота-манипулятора легко решается в 2.1.

3 Структурная схема

Структурная схема представлена на рисунке 3.1.

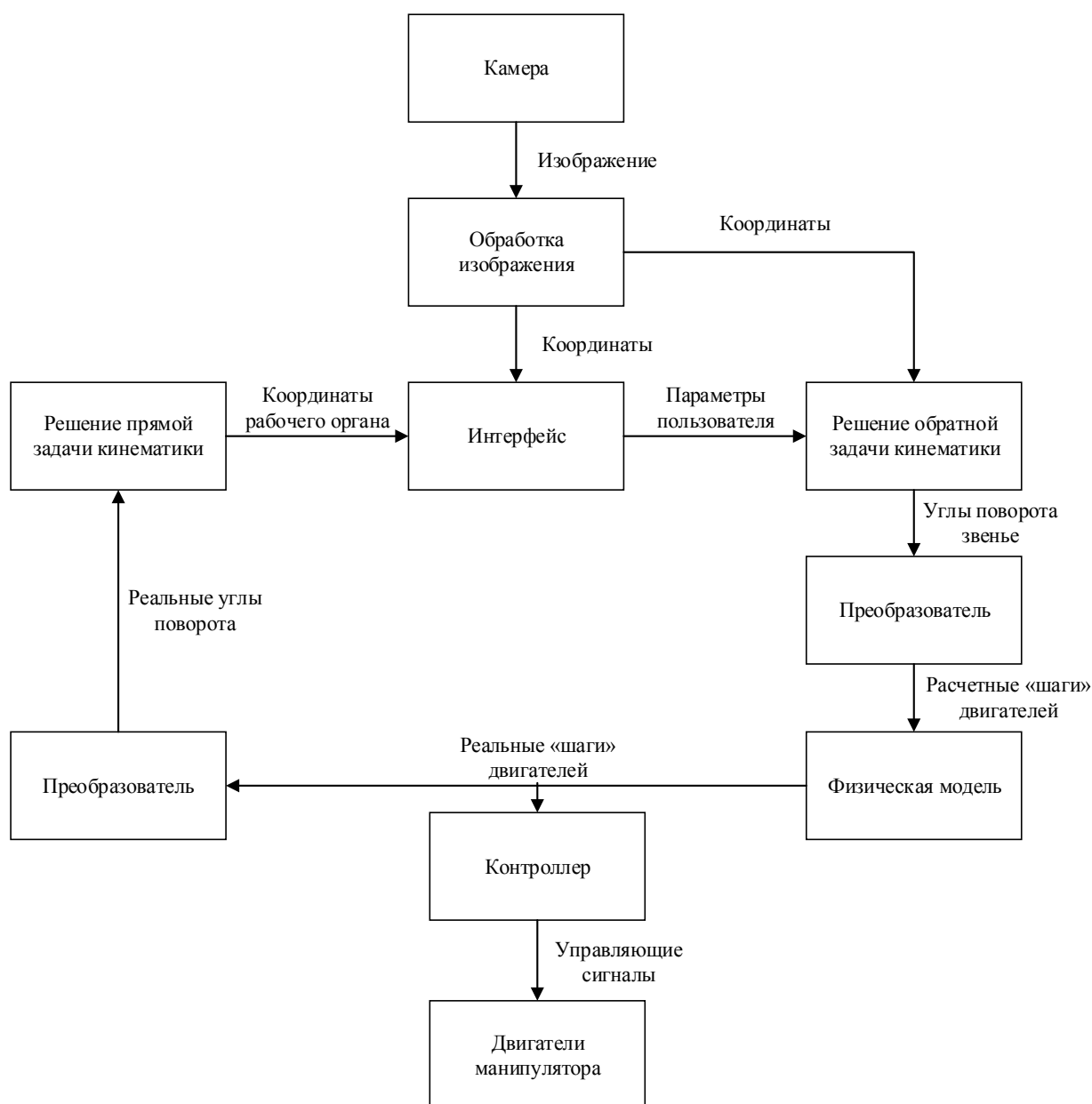


Рисунок 3.1 – Структурная схема

Перемещение рабочего органа манипулятора осуществляется с помощью шаговых двигателей. Для управления ими используются специальные управляющие сигналы, поступающие с контроллера. Чтобы правильно выработать управляющие сигналы, контроллер должен знать количество шагов и направление движения для каждого из двигателей.

Количество шагов рассчитываются в преобразователе исходя из требуемых углов поворота звеньев, минимального шага двигателей и передаточных чисел зубчатых колес.

Так как конструкции манипулятора и двигателей имеют свои механические ограничения, то необходимо ввести в структурную схему элемент «физическая модель», который учитывает возможную рабочую зону манипулятора.

Углы поворота звеньев высчитываются решением обратной задачи кинематики. На вход блоку решения обратной задачи кинематики (ОЗК) поступают требуемые координаты рабочего органа манипулятора. Эти координаты могут быть введены вручную пользователем через интерфейс, либо поступать напрямую от обработчика изображения.

Обработчик изображений получает на входе картинку, определяет на ней объект манипулирования и высчитывает координаты центра объекта. Изображение поступает с камеры.

Так же для компенсации ошибки между рассчитанным и реальным положением звеньев манипулятора необходимо ввести блок решения прямой задачи кинематики. На вход данного блока поступают значения углов поворота звеньев, а на выходе координаты рабочего органа манипулятора.

4 Функциональная схема

Функциональная схема представлена на рисунке 4.1.

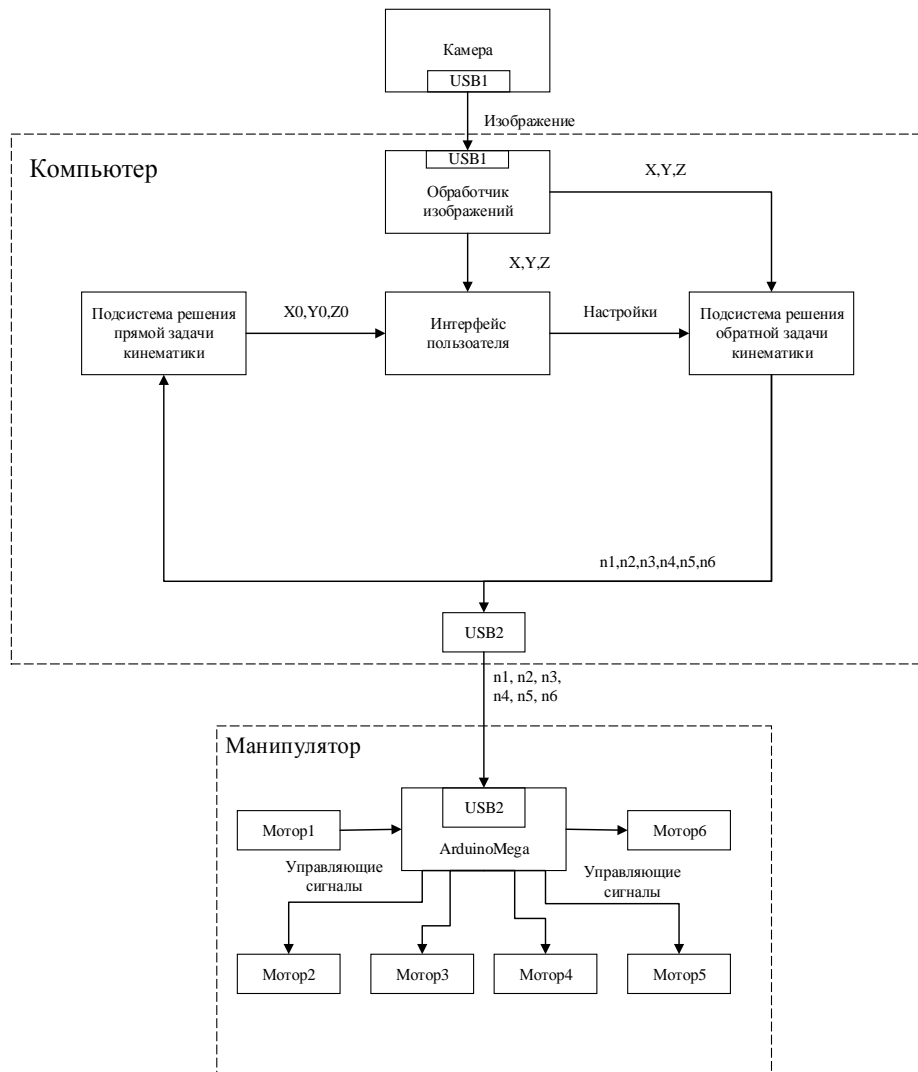


Рисунок 4.1 – Функциональная схема

Изображение с камеры поступает на обработчик изображений, где определяются требуемые координаты объекта манипулирования. Координаты передаются на интерфейс пользователя, который может прервать выполнение перемещения манипулятора. Иначе, с помощью подсистемы решения обратной задачи кинематики определяется необходимое количество шагов для каждого двигателя. Далее, по последовательному порту данные передаются на контроллер, который генерирует соответствующие сигналы для моторов.

И наконец, подсистема решения прямой задачи кинематики высчитывает реальное положение звеньев с учетом конструкции манипулятора и двигателей (X_0, Y_0, Z_0).

5 Программное обеспечение

5.1 Написание программы для Arduino

В среде разработки Ардуино IDE существует стандартная библиотека `Stepper.h` для написания программ шаговых двигателей. Основные функции в этой библиотеке:

- `Stepper(количество шагов, номера контактов)`. Эта функция создает объект `Stepper`, которая соответствует подключенному к плате Ардуино двигателю. Аргумент – контакты на плате, к которым подключается двигатель, и количество шагов, которые совершаются для полного оборота вокруг своей оси.

- `Set Speed(long rpms)` – функция, в которой указывается скорость вращения. Аргументом является положительное целое число, в котором указано количество оборотов в минуту. Задается после функции `Step()`.

- `Step(Steps)` – поворот на указанное количество шагов. Аргументом может быть либо положительное число – поворот двигателя по часовой стрелке, либо отрицательное – против часовой стрелки.

Скетч для управления тремя шаговыми двигателями представлен в приложении В. В данном скетче осуществляется прием данных с последовательного порта о количестве шагов, которое необходимо сделать двигателям.

Блок-схема алгоритма программы представлена на рисунке 5.1. Контроллер принимает команды с последовательного порта. Если принята команда «START», то контроллер, используя информацию с оптопар, перемещается в начальную позицию и продолжает ждать команд с последовательного порта.

Если принята команда о перемещении в заданную точку, то контроллер проверяет, возможно ли перемещение в данную позицию с точки зрения конструкции манипулятора. В случае верно введенной информации, посылается команда на перемещение звеньев в заданное положение.

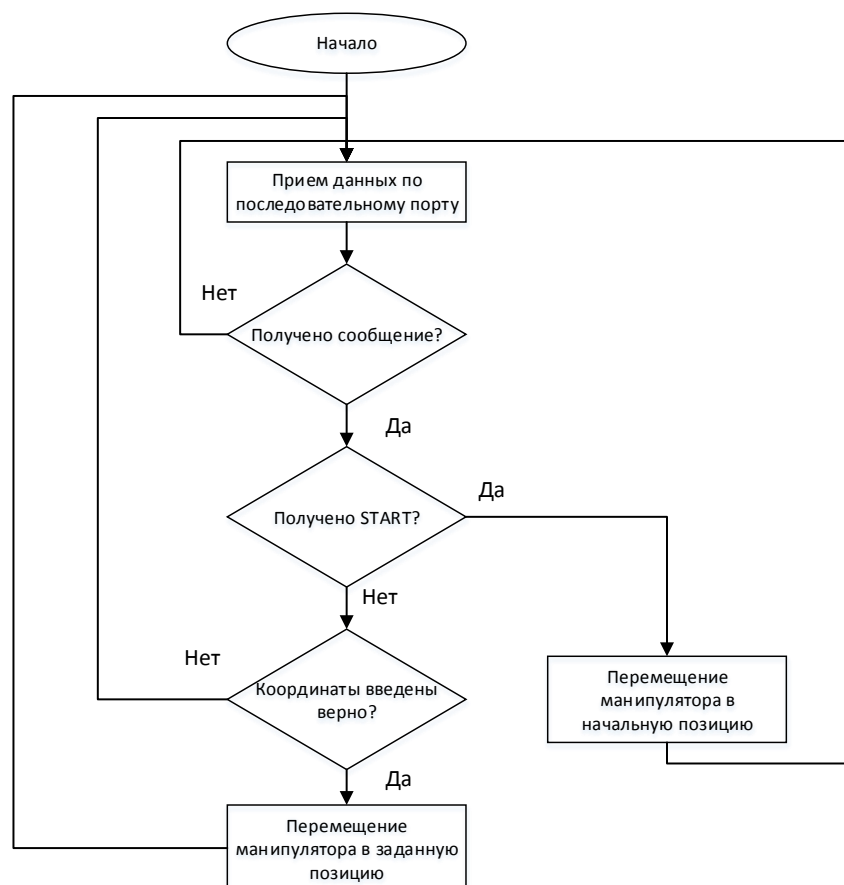


Рисунок 5.1 – Блок-схема алгоритма программы Arduino

5.2 Интерфейс пользователя

Для упрощения работы с манипулятором предлагается создать интерфейс. Внешний вид окна представлен на рисунке 5.2.1.

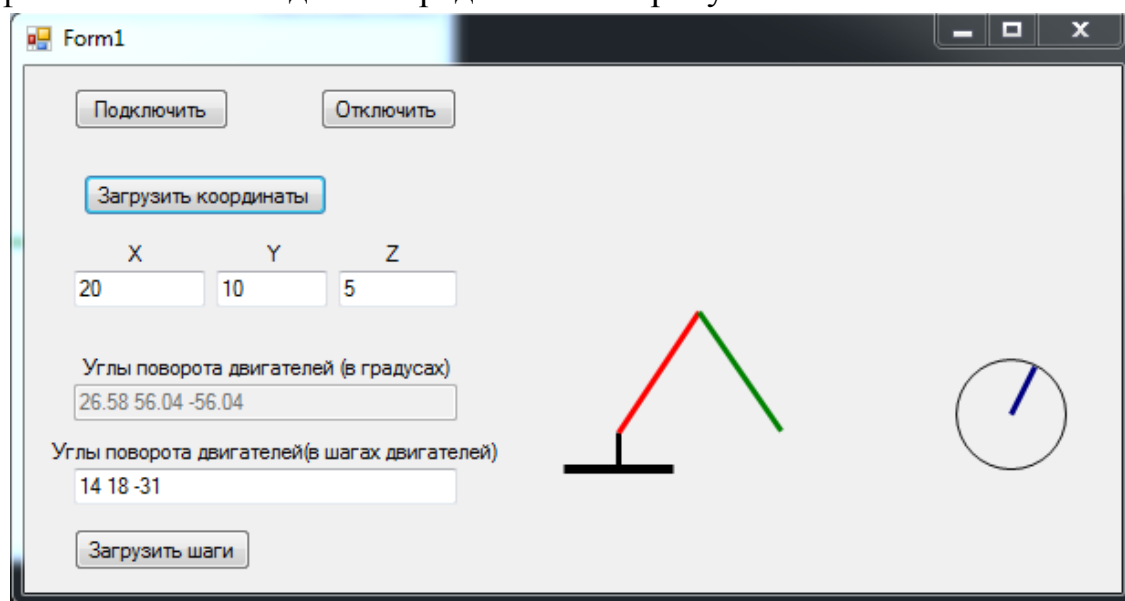


Рисунок 5.2.1 – Интерфейс пользователя

Кнопки «Подключить» и «Отключить» служат для создания и разрыва последовательного соединения между компьютером и платой Arduino.

В поля пользователь вводит координаты, в которые должен передвинуться схват манипулятора.

Команда «Загрузить координаты» служит для расчета углов поворота для каждого из трех двигателей, используя записанные в поля координаты.

Схематичное изображение манипулятора справа отображает положение его звеньев.

Листинг программы представлен в приложении Г. Блок-схема алгоритма программы представлена на рисунке 5.2.2.

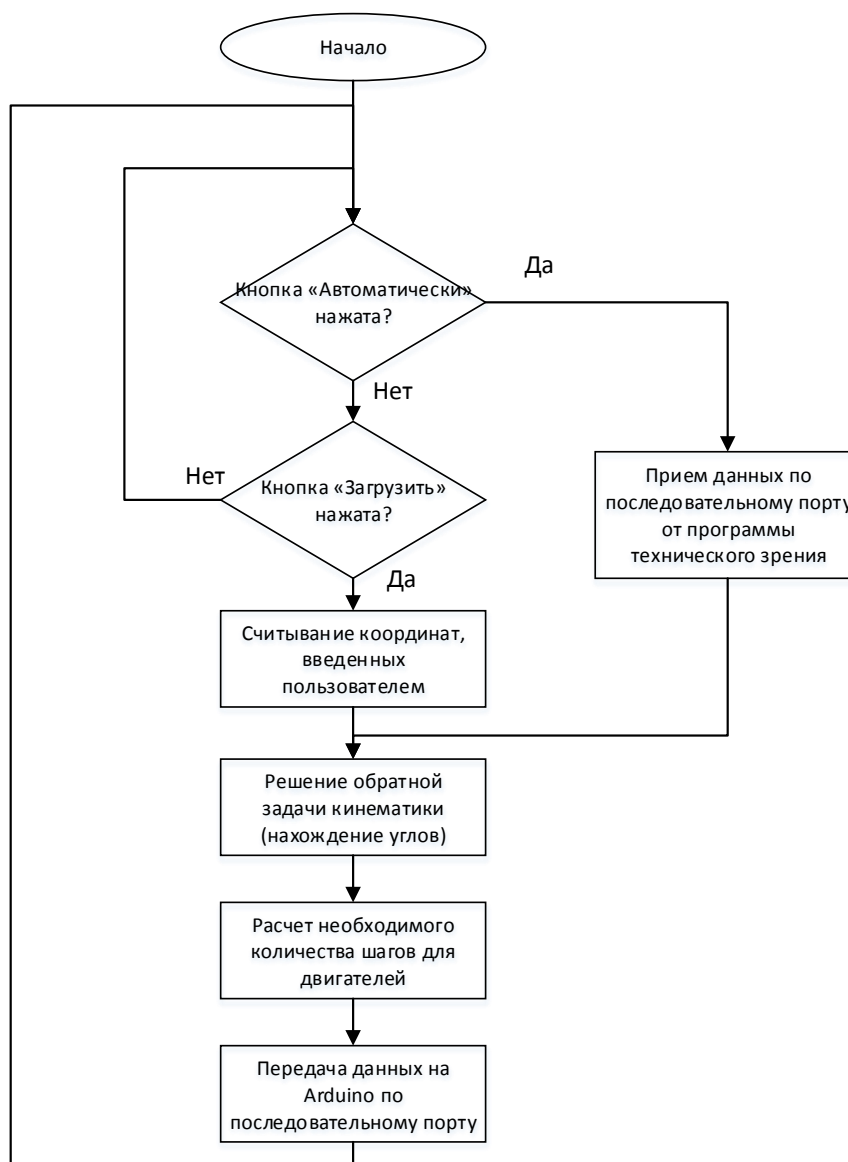


Рисунок 5.2.2 – Блок-схема алгоритма интерфейса

5.3 Техническое зрение

С помощью камеры, установленной на предплечье манипулятора, необходимо найти координаты центра объекта манипулирования. Для этого воспользуемся библиотекой OpenCV.

Листинг программы технического зрения представлен в приложении Д.

Алгоритм работы представлен на рисунке 5.3.1.



Рисунок – 5.3.1 – Блок-схема алгоритма работы технического зрения

6 Печатная плата

Технологию изготовления печатных плат в домашних условиях можно разделить на несколько этапов:

- подготовка чертежей печатной платы;
- подготовка стеклотекстолита и сверление;
- нанесение рисунка;
- раствор для травления;
- травление;
- лужение.

По электрической схеме, представленной в приложении Е, разработан чертеж печатной платы (рисунок 6.1).

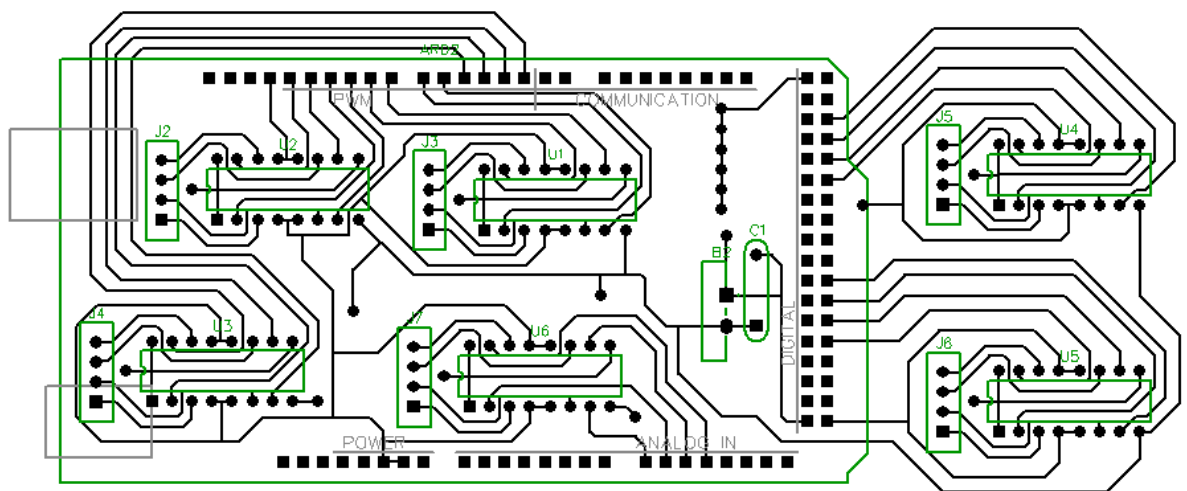


Рисунок 6.1 – Чертеж печатной платы

На печатной плате должны расположиться шесть микросхем L293D, к каждому из которых подводятся четыре ножки для подключения шагового двигателя.

Далее производится подгонка текстолита (100x150) под размеры чертежа печатной платы (70x150), сверление крепежных отверстий и обработка наждачной бумагой. После очистки платы необходимо провести обезжиривание с помощью спирта или ацетона.

Следующим этапом идет нанесение рисунка на стеклотекстолит с помощью утюга и корректировка полученного рисунка с помощью скальпеля и перманентного маркера.

Травление платы можно производить разными методами, но в данном случае применялось хлорное железо. На 200 мл теплой воды растворяется 150 г хлорного железа. Травление следует производить в пластмассовой или фарфоровой посуде. Во время травления необходимо переворачивать плату и помешивать раствор. По окончании травления плата промывается под холодной проточной водой. Далее плата еще раз обрабатывается мелкой шкуркой.

В завершение, на плате сверлятся недостающие отверстия, наносится припой на дорожки, и припаиваются электрические детали.

Результат представлен на рисунках 6.2 и 6.3.

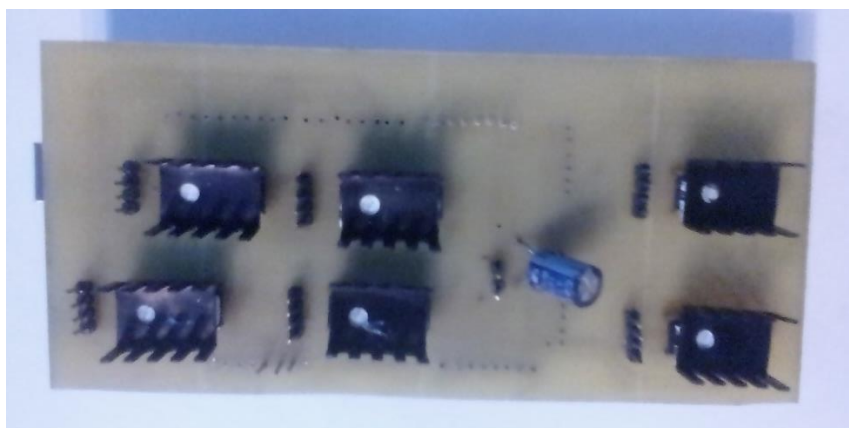


Рисунок 6.2 – Вид платы сверху

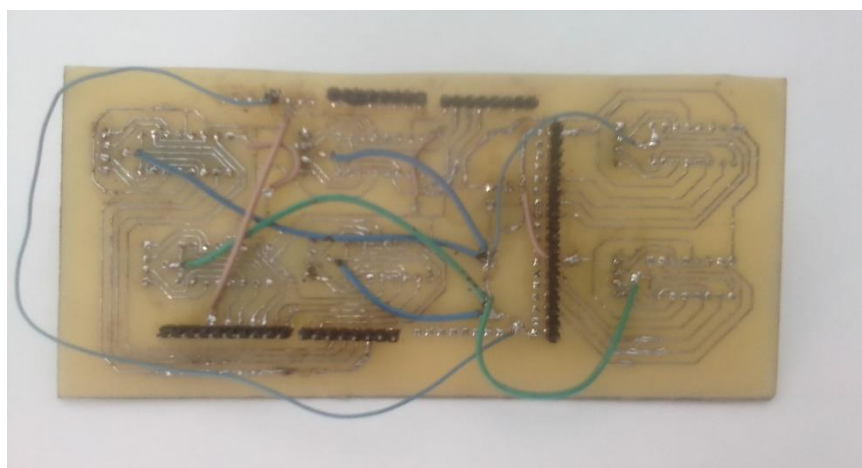


Рисунок 6.3 – Вид платы снизу

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данная ВКР посвящена разработке программного обеспечения и аппаратной части для управления роботом-манипулятором с техническим зрением.

7.1 Преддипломный анализ

Перед планированием работы, определением ресурсного и экономического потенциала разработки программно-алгоритмического комплекса, следует уделить особое внимание оценки коммерческого потенциала и перспективности новой разработки в целом, дать характеристику и определить сегмент рынка, на который будет ориентироваться компания при продаже своей продукции.

7.1.1 Потенциальные потребители результата

Основными потребителями программно-аппаратных комплексов для роботов-манипуляторов являются учебные заведения разных ступеней, которые имеют в учебной программе предметы, связанные с управлением, разработкой и программированием роботов-манипуляторов.

Таблица 7.1 – Карта сегментирования рынка продаж программно-аппаратных комплексов

		Использование продукции		
		Промышленное использование	Обучение студентов/сотрудников	Моделирование и разработка роботов-манипуляторов
Группа потребителей	Промышленные предприятия			
	ВУЗы и техникумы			
	Школьные классы робототехники			
ТПУ				
«Дружба» (ЦМИТ)				
«Камаз»				

Согласно карте сегментирования рынка (таблица 7.1), можно сделать вывод об относительной свободе сегмента продаж программно-аппаратных комплексов роботов-манипуляторов.

7.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентно-способных решений будет основываться на двух конкурентных решениях, а именно компаний KUKA [3] и Dobot [4].

Таблица 7.2 – Сравнение конкурентных технических разработок

№	Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
			Бф	Бк1	Бк2	Кф	К1	К2
	1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности								
1	Повышение производительности труда пользователя	0,16	4	5	3	0,64	0,80	0,48
2	Удобство в эксплуатации	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,60
3	Помехоустойчивость	0,03	4	4	4	0,12	0,12	0,12
4	Энергоэффективность	0,01	4	3	4	0,04	0,03	0,04
5	Надежность	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,20
6	Уровень шума	0,04	5	4	5	0,20	0,16	0,20
7	Безопасность	0,04	5	5	5	0,20	0,20	0,20
8	Потребность в ресурсах памяти	0,01	3	4	3	0,03	0,04	0,03
9	Функциональная мощность	0,10	4	5	3	0,40	0,50	0,30
10	Простота эксплуатации	0,10	4	5	4	0,40	0,50	0,40
11	Качество пользовательского интерфейса	0,07	4	5	4	0,28	0,35	0,28
Экономические критерии оценки эффективности								
1	Конкурентоспособность продукта	0,01	4	5	3	0,04	0,05	0,03
2	Уровень проникновения на рынок	0,01	1	5	4	0,01	0,05	0,04
3	Цена	0,09	5	2	3	0,45	0,18	0,27
4	Послепродажное обслуживание	0,08	4	5	4	0,32	0,40	0,32
5	Финансирование научной разработки	0,04	3	5	3	0,12	0,20	0,12
6	Срок выхода на рынок	0,01	3	5	5	0,03	0,05	0,05
	Итого	1	66	77	65	4,28	4,63	3,68

Исходя из представленных конкурентных преимуществ (таблица 7.2), представленная нами разработка получилась более выгодной, чем продукция Dobot по показателям повышения производительности труда пользователя надежности, функциональной мощности и конкурентоспособности, однако проигрывает по ряду критериев, таких как функциональная мощность, простота эксплуатации, качество пользовательского интерфейса и финансирование, производителю KUKA.

Но, поскольку, самым важным критерием для большинства покупателей является цена продукции, то здесь разрабатываемый программно-аппаратный комплекс имеет значимое преимущество.

7.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица составляется на основе анализа рынка и конкурентных технических решений, и показывает сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки.

Первый этап анализа заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для его реализации, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	С1. Интуитивно понятный интерфейс управления С2. Низкая стоимость производства С3. Использование распространённого программного обеспечения С4. Возможность модернизации продукта пользователем С5. Ограничение механических перемещений манипулятора на программном уровне	СЛ1. Отсутствие финансирования СЛ2. Низкая востребованность на рынке СЛ3. Совместимость с одним типом манипуляторов СЛ4. Отсутствие обучающих материалов

Возможности		
B1	Появление дополнительного спроса на продукт	B1C1C2. Использование ключевых особенностей разработки для продвижения продукта
B2	Повышение стоимости конкурентных разработок	B2C2. Привлечение внимания к более дешевому продукту
B3	Получение финансирования	B3C3C4. Добавление новых функций и возможностей продукту
B4	Выход на международный рынок	B4C1C2C3C4. Увеличение спроса на продукт за счет его преимуществ
Угрозы		
Y1	Отсутствие спроса	Y1C1C2C3C4. Сильные стороны продукта помогут ему остаться востребованным
Y2	Появление новых конкурентов	Y2C1C2. Низкая стоимость и понятный интерфейс позволят продукту остаться на рынке
Y3	Снижение стоимости конкурентных разработок	Y3C3C4. Дополнительные возможности продукта позволят ему остаться на рынке даже с учетом снижения цены конкурентами
Y4	Неверная эксплуатация продукта пользователем	Y4C1C5. Понятный интерфейс позволит снизить вероятность неверной эксплуатации, а программные ограничения позволят снизить вероятный ущерб продукту.
		Y1C1C2C3C4. Потеря актуальности продукта, остановка развития данной технологии
		Y2C1C2C3C4. Отказ пользователя от продукта в пользу нового конкурента
		Y3C1C2C3C4. Пользователь предпочтет продукцию конкурента
		Y4C1C4. Пользователь откажется от работы с продуктом

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Соотношения параметров представлены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	-	-	-
	B2	-	+	-	-	-
	B3	-	-	+	+	-
	B4	+	+	+	+	-
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4	
	B1	-	+	-	-	
	B2	-	+	-	-	
	B3	-	-	+	+	
	B4	-	-	-	-	
		Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	+	+	-
	У2	+	+	-	-	-
	У3	-	-	+	+	-
	У4	+	-	-	-	+
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4	
	У1	-	+	+	+	
	У2	+	-	+	+	
	У3	+	+	+	+	
	У4	-	-	-	+	

SWOT-анализ показал сильные (интерфейс, цена, возможность усовершенствования) и слабые (финансирование, низкий спрос, отсутствие руководства пользователя) стороны проекта, а так же возможности (получение финансирования, увеличение спроса) и угрозы (появление новых конкурентов, отсутствие спроса) при реализации разработки. Используя данную информацию, можно рассмотреть возможные варианты устранения слабых сторон и минимизации угроз.

Устранить слабые стороны и снизить влияние угроз проекта позволит повышение технологичности разработки, добавление дополнительных функций и написание руководства по эксплуатации.

7.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка, полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и

выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов и оценок приведен в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	3
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	3	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	40	45

Итоговые значения проработанности научного проекта и знаний у разработчика лежат в диапазоне от 40 до 45, что говорит о средней перспективности проекта.

Такие аспекты вывода продукта на рынок, как исследования рынков сбыта, разработка бизнес-плана, проработка вопросов международного сотрудничества и готовность команды для коммерциализации разработки, не были учтены. А также проявляется недостаток знаний в вопросах международного сотрудничества в данной сфере, вопросах использования услуг инфраструктуры поддержки и вопросах подготовки команды для коммерциализации. Следовательно, требуются дополнительные затраты на наём маркетологов или консультации у специалистов для решения задач сбыта и рекламы продукта, а так же получения льгот.

7.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Перспективность данного научного исследования выше среднего, поэтому не все аспекты реализации данного продукта рассмотрены и изучены. Таким образом, для организации предприятия этого недостаточно. Но так как основной научно-технический задел определен, этого достаточно для коммерциализации для следующих методов: Торговля патентной лицензией; передача ноу-хау и инжиниринг. Степени проработанности научного проекта и уровень знаний разработчика достаточно для реализации пунктов, которые были выбраны.

7.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

7.2.1 Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 7.6:

Таблица 7.6 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Пользователь	Простота в использовании программного продукта
ТПУ	Восстановление работоспособности манипулятора и его модернизация
Научный руководитель, студент	Выполненная выпускная квалификационная работа

Цели и результат проекта представлены в таблице 7.7:

Таблица 7.7 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	<ul style="list-style-type: none">• Собрать данные о роботе-манипуляторе• Спроектировать функционал в соответствии с требованиями• Произвести расчет стоимости разработки• Напечатать плату• Реализовать алгоритм управления роботом-манипулятором• Произвести тестирование• Внедрить разработку
Ожидаемые результаты проекта:	Успешное внедрение разработки в ТПУ
Критерии приемки результата проекта:	Успешное тестирование функционала в соответствии с функциональным требованием
Требования к результату проекта:	Требование: <ul style="list-style-type: none">• Выполнены все пункты функционального требования и требования к пользовательскому интерфейсу.• Разработанный функционал полностью соответствует проектным решениям.

Соответствие целей проекта с фактическими результатами позволит говорить о его успешности.

7.2.2 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Эту информацию представлена в табличной форме (таблица 7.8).

Таблица 7.8 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
9.3.3.1 Бюджет проекта	70000 рублей
9.3.3.1.1 Источник финансирования	Студент, НИТПУ
9.3.3.2 Сроки проекта	01.01.2019 – 10.06.2019
9.3.3.2.1 Фактическая дата утверждения плана управления проектом	01.01.2019
9.3.3.2.2 Плановая дата завершения проекта	10.06.2019

7.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит и процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом включает в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

7.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 7.1 представлена иерархическая структура работы.

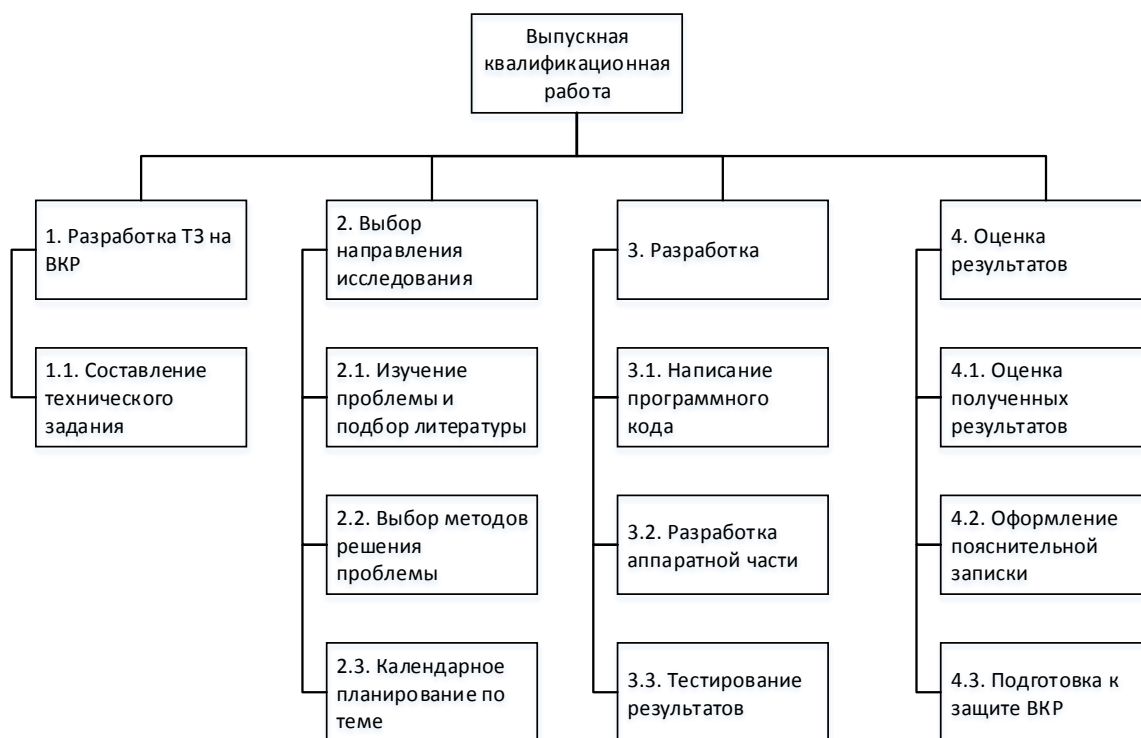


Рисунок 7.1 – Иерархическая структура работы

Структура работ проекта содержит разработку технического задания, выбор направления исследования, разработку программной и аппаратной частей проекта, а так же оценку результатов.

7.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Линейный график представляется в виде таблицы 7.9.

Таблица 7.9 – Линейный график

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1.1	Составление технического задания	5	01.01.2019	15.01.2019	Студент, руководитель
2	Выбор направления исследования	15	16.01.2019	20.01.2019	Студент, руководитель
2.1	Изучение литературы	10	21.01.2019	30.01.2019	Студент
2.2	Выбор методов решения проблемы	10	31.01.2019	10.02.2019	Студент

Продолжение таблицы 7.9 – Линейный график

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
2.3	Календарное планирование	5	11.02.2019	15.02.2019	Студент
3.1	Написание программного кода	30	16.02.2019	17.03.2019	Студент
3.2	Разработка аппаратной части	30	18.03.2019	18.04.2019	Студент
3.3	Тестирование	10	19.04.2019	29.04.2019	Студент
4.1	Оценка результатов	10	30.04.2019	9.05.2019	Студент, руководитель
4.2	Оформление ВКР	25	10.05.2019	03.06.2019	Студент, руководитель
4.3	Подготовка к защите	7	4.06.2019	10.06.2019	Студент, руководитель
Итого		157	01.01.2019	10.06.2019	

Длительность выполнения проекта составляет 157 календарных дней, начиная с 01.01.2019 до 10.06.2019. Основной объем работ приходится на студента.

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 7.10 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Совместная работа студента и руководителя приходится на начальный этап работ, при составлении технического задания и выбора направления исследований, и на завершающий период при оценке результатов, оформлении ВКР и подготовке к защите.

Выполнение основной части работы и тестирование разработки производится студентом.

Таблица 7.10 – Диаграмма Ганта

Код работ ы (из ИСР)	Вид работ	Исполн ители	Т _к , Дн.	Продолжительность выполнения работ																
				Янв.			Февр.			Март			Апр.			Май.			Ию нь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1.1	Составление технического задания	С,Р	15	■	■															
2	Выбор направления исследования	С,Р	5		■															
2.1	Изучение литературы	С	10			■														
2.2	Выбор методов решения проблемы	С	10				■													
2.3	Календарное планирование	С	5				■													
3.1	Написание программно го кода	С	30				■	■	■	■										
3.2	Разработка аппаратной части	С	30							■	■	■	■	■						
3.3	Тестирование	С	10										■	■						
4.1	Оценка результатов	С, Р	10											■	■					
4.2	Оформление ВКР	С,Р	25												■	■	■	■		
4.3	Подготовка к защите	С,Р	7														■	■		



– Руководитель(Р)



– Студент (С)

7.3.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье занесены в таблицу 7.11.

Таблица 7.11 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Arduino Mega	-	1	1158	1158
Драйвер	L293D	6	165	990
Стеклотекстолит	100 · 150 · 1,5мм	1	80	80
Электронные компоненты	-	1	400	400
Бумага для принтера	500 листов	1	258	258
Картридж для принтера	-	1	360	360
Всего за материалы				3326
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				102
Итого по статье С _М				3428

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Для разработки программного кода требуется персональный компьютер и среды разработки, которые предоставляются бесплатно. Разработка аппаратной части требует наличия паяльной станции и дрели.

Данное оборудование имеется у организации.

Таблица 7.12 – Спецоборудование для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1.	Персональный компьютер	1	-	-
2.	Среда разработки Visual Studio	1	-	-
3.	Среда разработки Arduino	1	-	-
4.	Паяльная станция	1	-	-
5.	Дрель	1	-	-

Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда). Расчет основной заработной платы сводится в таблице 7.13.

Таблица 7.13 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1		Руководитель		17000	17000
2		Магистр		2650	2650
Итого:				19650	

$$C_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (20)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ руководителя рассчитывается по формуле (21):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (21)$$

где $T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Значит для руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 17000 \cdot 1,3 = 22100 \text{ рублей}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (22):

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}} \quad (22)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 45 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6 - дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях). Тогда,

Для руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{22100 \cdot 10,4}{254} = 904,8 \text{ рублей}$$

Для дипломника:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{2650 \cdot 10,4}{217} = 127 \text{ рублей}$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 7.14.

Таблица 7.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	82
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	45	52
- невыходы по болезни	—	—
Действительный годовой фонд рабочего времени	254	217

Таблица 7.15 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	$Z_{б,}$ руб.	k_p	$Z_{м,}$ руб.	$Z_{дн,}$ руб.	$T_p,$ раб. дн.	$Z_{осн,}$ руб.
Руководитель	17000	1.3	22100	904,8	27	24457
Магистр	2650		2650	127	94	11938
Итого по статье $Z_{осн,}$:						36395

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (23)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{доп}=0,1$);

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Для руководителя:

$$Z_{доп} = 24457 \cdot 0,1 = 2445,7 \text{ руб.}$$

В таблице 7.16 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 7.16 – Заработная плата исполнителей ВКР

Заработная плата	Руководитель	Магистр
Основная зарплата	24457	11938
Дополнительная зарплата	2445,7	–
Зарплата исполнителя	26902,7	11938
Итого	38840,7	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,271 \cdot (24457 + 2445,7) = 7290,6 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Накладные расходы

В эту статью относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по формуле (24):

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (24)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,75 \cdot (24457 + 2445,7) = 20117 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 7.17 – Бюджет затрат НТИ

№	Затраты по статьям						
	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	3428	-	36395	2445,7	20117	7290,6	69676

В результате было получено, что бюджет НТИ составит 69676 руб.

7.3.4 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать таблицу 7.18.

Таблица 7.18 – Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

В данном случае была выбрана матричная организационная структура в связи с высокой степенью неопределенности условий реализации и средней сложности проекта. Так же присутствует взаимосвязь между отдельными частями проекта и ограничение по времени.

7.3.5 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. Пример плана управления коммуникациями приведен в таблице 7.19.

Таблица 7.19 – Пример плана управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Руководитель проекта	Представителю заказчика	Ежеквартально (первая декада квартала)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно (пятница)
3.	Документы и информация по проекту	Ответственное лицо по направлению	Руководителю проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления

7.3.6 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (таблица 7.20).

Таблица 7.20 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Отсутствие спроса		2	5	высокий	Внедрение нового функционала, снижение стоимости	Появление на рынке дешевой системы управления манипулятором
2	Появление новых конкурентов		3	3	средний	Модификация продукта	Увеличение актуальности роботов-манипуляторов
3	Неверная эксплуатация продукта пользователем		4	4	высокий	Написание руководства по эксплуатации	Использование сложного интерфейса

Модернизация продукта и обеспечение обучающим материалом позволит снизить существующие риски проекта.

7.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

7.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

Динамические методы оценки инвестиций базируются на применении показателей:

- чистая текущая стоимость (**NPV**);
- срок окупаемости (**DP**);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- индекс доходности (PI).

Все перечисленные показатели основываются на сопоставлении чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности, и их приведении к определенному моменту времени. Теоретически чистые денежные поступления можно приводить к любому моменту времени (к будущему либо текущему периоду). Но для практических целей оценку инвестиции удобнее осуществлять на момент принятия решений об инвестировании средств.

7.4.1.1 Чистая текущая стоимость (NPV)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то **NPV** определяется по формуле (25):

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0, \quad (25)$$

где $ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t = 0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: $NPV > 0$.

Чем больше NPV , тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, если NPV является положительной. Расчет чистой текущей стоимости представлен в 7.21.

Таблица 7.21 - Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Выручка от реализации, тыс.руб.	0	192,660	192,660	192,660	192,660
2.	Прямые материальные затраты, тыс.руб.	0	101,400	101,400	101,400	101,400
3.	Инвестиционные издержки, тыс.руб.	-69,676	0	0	0	0
4.	Операционные затраты, тыс. руб. С+ФОТ+Ам	0	33,824	33,824	33,824	33,824
5.	Налогооблагаемая прибыль (1-4)		57,436	57,436	57,436	57,436
6.	Налоги, тыс. руб донал.приб*20%	0	11,4872	11,4872	11,4872	11,4872
7.	Итого отток, тыс.руб. Опер.затр.+налоги	0	146,711	146,711	146,711	146,711
8.	Чистый денежный поток, тыс. руб.	-69,676	45,949	45,949	45,949	45,949
9.	Коэффициент дисконтирования (приведения при $i = 20\%$)	-69,676	0,833	0,694	0,578	0,482
10.	Дисконтированный чистый денежный поток, тыс.руб. (с8*с9)	-69,676	38,275	31,889	26,558	22,147
11.	Суммарный поток, тыс.руб. ($NPV = 49,193$ тыс.руб.)	-69,676	-31,401	0,488	27,046	49,193

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 49,193 тыс. рублей, что позволяет говорить о его эффективности.

Дисконтированный срок окупаемости

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости.

Рассчитывается данный показатель примерно по той же методике, что и простой срок окупаемости, с той лишь разницей, что последний не учитывает фактор времени.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 7.22).

Таблица 7.22 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$)	-69,676	38,275	31,889	26,558	22,147
2.	То же нарастающим итогом	-69,676	-31,401	0,488	27,046	49,193
3.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{дск} = 1 + 31,401/31,889 = 1,99$ года				

Дисконтированный срок окупаемости проекта равен 1,99 года, что говорит о эффективности инвестиций в данную разработку.

Внутренняя ставка доходности (IRR)

Для установления показателя чистой текущей стоимости (NPV) необходимо располагать информацией о ставке дисконтирования, определение которой является проблемой, поскольку зависит от оценки экспертов. Поэтому, чтобы уменьшить субъективизм в оценке эффективности инвестиций на практике широкое распространение получил метод, основанный на расчете внутренней ставки доходности (IRR).

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость следует из таблицы 7.23 и графика, представленного на рисунке 7.2.

Таблица – 7.23 – Зависимость **NPV** от ставки дисконтирования

No	Наименование показателя	0	1	2	3	4	
1	Чистые денежные потоки	-69,676	45,949	45,949	45,949	45,949	
2	Коэффициент дисконтирования						
	i=0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	i=0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	i=0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	i=0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	i=0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	i=0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,095	
	i=0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,070	
	i=0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	i=0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	i=1,0	1	0,500	0,250	0,125	0,063	
3	Дисконтированный денежный поток, тыс. руб						
	i=0,1	-69,676	41,768	37,954	34,508	31,383	75,936
	i=0,2	-69,676	38,276	31,889	26,559	22,147	49,194
	i=0,3	-69,676	35,335	27,202	20,907	16,082	29,850
	i=0,4	-69,676	32,808	23,434	16,725	11,947	15,238
	i=0,5	-69,676	30,648	20,401	13,555	9,098	4,026
	i=0,6	-69,676	28,718	17,920	11,212	4,365	-7,461
	i=0,7	-69,676	27,018	15,393	9,328	3,216	-14,721
	i=0,8	-69,676	25,548	14,198	7,857	4,365	-17,708
	i=0,9	-69,676	24,169	12,728	6,709	3,538	-22,532
	i=1	-69,676	22,975	11,487	5,744	2,895	-26,576

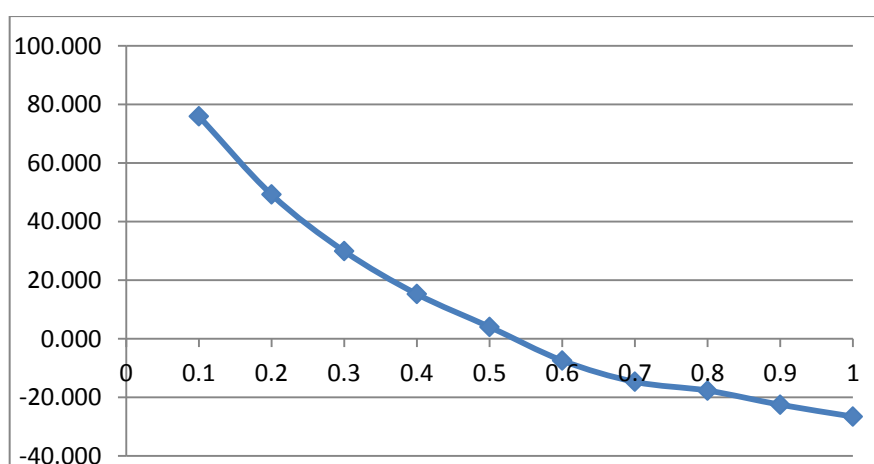


Рисунок 7.2 – Зависимость **NPV** от ставки дисконтирования.

Из таблицы 7.23 и графика 7.2 следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой **NPV** обращается в нуль, носит

название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,53.

Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_t}{(1+i)^t} / I_0, \quad (26)$$

где I_0 – первоначальные инвестиции.

$$PI = \frac{38,276 + 31,889 + 26,559 + 22,147}{69,676} = 1,7$$

$PI=1,7>1$, следовательно, проект эффективен при $i=0,2$;

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 7.24 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Ручной ввод углов поворота каждого звена манипулятора	Возможность задания координат положения схвата
Ручное управление манипулятором	Автоматическое перемещение схвата манипулятора по информации с камеры
Ввод недостижимых углов поворота для робота-манипулятора	Программное ограничение на возможные угловые перемещения звеньев манипулятора

7.4.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более)

вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле (27):

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (27)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (28)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблица 7.25).

Таблица 7.25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	2	2
3. Помехоустойчивость	0,15	3	3	3
4. Энергосбережение	0,20	3	3	4
5. Надежность	0,20	4	3	3
6. Удобство интерфейса	0,20	5	4	2
ИТОГО	1	25	19	18

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_i^p}{\Phi_{max}} = \frac{5}{25} = 0,2$$

$$I_{\Phi}^a = \frac{\Phi_i^a}{\Phi_{max}} = \frac{4}{19} = 0,21$$

$$I_T^p = 5 * 0,1 + 5 * 0,15 + 3 * 0,15 + 3 * 0,2 + 3 * 0,2 + 5 * 0,2 = 4,1$$

$$I_{T1}^a = 4 * 0,1 + 2 * 0,15 + 3 * 0,15 + 3 * 0,2 + 3 * 0,2 + 4 * 0,2 = 3,15$$

$$I_{T2}^a = 4 * 0,1 + 2 * 0,15 + 3 * 0,15 + 4 * 0,2 + 3 * 0,2 + 2 * 0,2 = 2,95$$

$$I_{финр}^p = \frac{I_T^p}{I_{\Phi}^p} = \frac{4,1}{0,2} = 20,5$$

$$I_{финр}^a = \frac{I_T^a}{I_{\Phi}^a} = \frac{3,15}{0,21} = 15$$

$$\Xi_{cp} = \frac{I_{\Phi}^p}{I_{\Phi}^a} = \frac{0,2}{0,21} = 0,95$$

Таблица 7.26 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,21	0,2
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,15	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	15	20,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,95	1,05

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Выводы по разделу

В ходе выполнения раздела проведен предпроектный анализ, по результатам которого были найдены способы устранения слабых сторон проекта и определены действия для снижения рисков и угроз при реализации проекта. Составлен календарный план проекта, определен бюджет НТИ.

В ходе проведения анализа показателей эффективности инвестиций была получена чистая текущая стоимость (NPV) – 49,193 тыс. руб. Таким образом, данный инвестиционный проект можно считать выгодным, NPV является положительной величиной. Дисконтированный срок окупаемости проекта ($PP_{дск}$) составляет 1,99 года. Внутренняя ставка доходности (IRR) – 0,53, что позволяет признать инвестиционный проект экономически оправданным, так как выполняется условие неравенства $IRR > i$. Индекс доходности (PI) – 1,7 и, основываясь на том, что данная величина превышает единицу, можно утверждать, что данная инвестиция приемлема.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности показало, что текущий вариант решения поставленной задачи является лучшим.

8 Социальная ответственность

ВКР направлена на разработку программно-аппаратного комплекса для управления роботом-манипулятором. Данный продукт может быть использован для модернизации существующей системы управления манипулятора, которая может не удовлетворять пользователя по функциональным возможностям или ввиду морального и физического устаревания.

Данная разработка потенциально может заинтересовать пользователей и разработчиков роботов-манипуляторов, которых не устраивает существующая система управления.

Рабочим местом является аудитория №027 10 корпуса Томского политехнического университета.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

8.1.1 Правовые нормы трудового законодательства

Законодательством РФ регулируются отношения между организацией и работниками, касающиеся оплаты труда, трудового распорядка, социальных отношений, особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями и др.

Продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю. Для работников до 16 лет – не более 24 часов в неделю, от 16 до 18 лет – не более 35 часов, как и для инвалидов I и II группы. Для работников, работающих на местах, отнесенных к вредным условиям труда 3 и 4 степени – не более 36 часов.

Возможно установление неполного рабочего дня для беременной женщины; одного из родителей (опекуна, попечителя), имеющего ребенка в возрасте до четырнадцати лет (ребенка-инвалида в возрасте до восемнадцати лет) [5]. Оплата труда при этом производится пропорционально отработанному времени. Ограничений продолжительности ежегодного

основного оплачиваемого отпуска, исчисления трудового стажа и других трудовых прав при этом не имеется.

При работе в ночное время, продолжительность рабочей смены должна составлять на один час меньше. К работе в ночные смены не допускаются беременные женщины; работники, не достигшие возраста 18 лет; женщины, имеющие детей в возрасте до трех лет, инвалиды, работники, имеющие детей-инвалидов, а также работники, осуществляющие уход за больными членами их семей в соответствии с медицинским заключением, матери и отцы – одиночки детей до пяти лет [5].

Организация обязана предоставлять ежегодные отпуска продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, занятых на работах с опасными или вредными условиями, предусматривается дополнительный отпуск.

Работнику в течение рабочего дня должен предоставляться перерыв не более 2 часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Всем работникам предоставляются выходные дни, работа в выходные дни производится только с посменного согласия работника.

Организация выплачивает заработную плату работникам. Возможно удержание заработной платы, в случаях, предусмотренных ТК РФ ст. 137. В случае задержки заработной платы более чем на 15 дней работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя.

Законодательством РФ запрещены дискриминация по любым признакам, а также принудительный труд.

8.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

В данном разделе рассмотрим основные требования по эргономике рабочего места при выполнении работ сидя. Данные требования регламентируются ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования». В ГОСТе указаны такие

параметры, как высота сидения, ширина пространства для ног, высота рабочей поверхности для человека, выполняющего работы в сидячем положении.

Предъявляемые требования к расположению и компоновке рабочего места:

Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах (680 – 800) мм, при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм [6].

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПК, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм [6].

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм [6].

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах (400 – 550) мм и углам наклона вперед до 15°, и назад до 5°;
- высоту опорной поверхности спинки (300 ± 20) мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости – 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах $\pm 30^\circ$;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах (260 – 400) мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной – (50 – 70) мм;

– регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах (230 ± 30) мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах (350 – 500) мм [6].

Рабочее место пользователя ПК следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20°. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм [6].

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии (100 – 300) мм от края, обращенного к пользователю или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы [6].

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии (600 – 700) мм, но не ближе 500 мм [6].

Паяльную станцию следует располагать по правую сторону на поверхности стола на расстоянии (300 – 500) мм от края, обращённого к рабочему. Все материалы для пайки должны располагаться на противоположной части рабочего места на расстоянии, не превышающем длину руки рабочего.

Рекомендуется работать в помещении, где окна выходят на север или северо-восток. Местное освещение не должно создавать блики на поверхности экрана дисплея. Чистота обязательна при работе за компьютером. Влажную уборку помещения следует проводить ежедневно. Недопустима запыленность воздуха, пола, рабочей поверхности стола и техники. Помещение должно быть оборудовано системами вентиляции, кондиционирования и отопления.

8.2 Производственная безопасность

Ниже приведем перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды в виде таблицы 8.2.1.

Таблица 8.2.1 – Опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	1.СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [7]. 2. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95[8] 3. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки [9]. 4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [6]. 5. ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [10]. 6. ГОСТ ИЕС 60950-1-2014. Межгосударственный стандарт. Оборудование информационных технологий. Требования безопасности. Часть 1. Общие требования [12].
2.Недостаточная освещённость рабочей зоны и отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
3.Превышение уровня шума	+	+	+	
4.Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека	+	+	+	
5.Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха (в том числе пониженной или повышенной ионизацией) и (или) аэрозольным составом воздуха		+		
6.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	
7.Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека		+		

8.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Благоприятные (комфортные) метеорологические условия на производстве являются важным фактором в обеспечении высокой

производительности труда и в профилактике заболеваний. При несоблюдении гигиенических норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных. По степени физической тяжести работа инженера-программиста относится к категории лёгких работ 1а. В соответствии с временем года и категорией тяжести работ определены параметры микроклимата согласно требованиям [7] и приведены в таблице 8.2.1.1.

Таблица 8.2.1.1 – Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Категория 1а	(22 – 24)	(40 – 60)	0,1
Теплый	Категория 1а	(23 – 25)	(40 – 60)	0,1

В зимнее время в помещении предусмотрена система отопления. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В соответствии с характеристикой помещения определен расход свежего воздуха согласно [7] и приведен в таблице 8.2.1.2.

Таблица 8.2.1.2 – Нормы подачи свежего воздуха в помещение

Характеристика помещения	Объемный расход подаваемого в помещение воздуха
Объем до 20 м ³ на человека	Не менее 30
(20 – 40) м ³ на человека	Не менее 20

Рабочее место соответствует нормам.

8.2.2 Недостаточная освещённость рабочей зоны и отсутствие или недостаток естественного света

Правильное освещение помещений и рабочих зон одно из главных условий создания безопасных и благоприятных условий труда. При недостаточной освещенности развивается утомление зрения, понижается

производительность труда, возрастает количество брака, повышается опасность получения травм, низкая освещенность способствует развитию близорукости.

Рабочая зона или рабочее место разработчика освещается таким образом, чтобы можно было отчетливо видеть процесс работы, не напрягая зрения, а также исключается прямое попадание лучей источника света в глаза. Уровень необходимого освещения определяется степенью точности зрительных работ. По нормам освещенности [7] и отраслевым нормам, работа за ПК относится к зрительным работам очень высокой точности разряда А подразряда 2.

Рабочее место находится на цокольном этаже здания. Естественное освещение в аудитории отсутствует. Освещение в аудитории производится посредством общего искусственного освещения. Согласно [7] освещенность для работ очень высокой точности должна быть не менее 400 лм.

Значение освещенности для данного помещения удовлетворяет требованиям. Работа производится в достаточно освещаемом помещении.

8.2.3 Превышение уровня шума

Одним из важных факторов, влияющих на качество выполняемой работы, является шум. Шум ухудшает условия труда, оказывая вредное действие на организм человека. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, 88 головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах и т. д.

Работы, выполняемые специалистом, оцениваются как научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, следовательно, согласно [9] эквивалентный уровень шума в рабочем помещении не должен превышать 50 дБА.

В данной работе основным источником шума является персональный компьютер, уровень звука которого не нарушает требований по безопасности.

8.2.4 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека

Энергетическое влияние электромагнитного излучения может быть различной степени и силы. От неощутимого человеком (что наблюдается наиболее часто) до теплового ощущения при излучении высокой мощности, но подобный эффект проявляет себя только при превышении допустимого уровня. Помимо электромагнитного излучения, при работе компьютера образуется электростатическое поле, оно способно деионизировать окружающий воздух. Компьютер, при долгой работе, нагревается, что делает воздух не только слабо ионизированным, но и сухим. Такой воздух является очень вредным, он тяжелый для дыхания и способствует, при благоприятной среде, развитию многих аллергических заболеваний и, соответственно болезней органов дыхания.

Предельно-допустимые нормы ЭМП, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03, представлены в таблице 8.2.4.1.

Таблица 8.2.4.1 – Предельно допустимые нормы ЭМП

Напряженность магнитного поля	
в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	
в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл

Для обеспечения меньшего электромагнитного излучение использован жидкокристаллический монитор. Необходимо учитывать расстояние до монитора, так как при большем расстоянии от человека оказывается меньшее влияние.

8.2.5 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха (в том числе пониженной или повышенной ионизацией) и (или) аэрозольным составом воздуха

При пайке происходит выделение паров свинца (при температуре свыше 500 °С) и олова (при температуре свыше 232 °С) из припоя. Предельно-допустимые концентрации веществ указаны в таблице 8.2.5.1, согласно [10].

Таблица 8.2.5.1 – ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Особенности действия на организм
Свинцово-оловянный припой	0,05	1	Возникновение болезней органов дыхания, системы кровообращения, мочеполовой системы, кожи и подкожной клетчатки.

Чтобы избежать образования паров олова в помещении, необходимо подвергать его постоянному проветриванию, либо же использовать вентилятор [11].

8.2.6 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Согласно [12] помещение, в котором находится рабочее место, относится к категории помещений без повышенной опасности. Его можно охарактеризовать, как сухое, непыльное, с токонепроводящими полами и нормальной температурой воздуха. Температурный режим, влажность воздуха, химическая среда не способствуют разрушению изоляции электрооборудования.

Источниками опасного фактора являются персональный компьютер и печатная плата.

Безопасность при работе с электроустановками обеспечивается применением различных технических и организационных мер. Основные технические средства защиты от поражения электрическим током:

- изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- защитное заземление;
- зануление;
- защитное отключение по [12].

8.2.7 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека

Работы, связанные с пайкой и лужением, относятся к огневым работам и выполняются в соответствии с требованиями пожарной безопасности.

Один из основных опасных факторов, возникающих при паяльных и лудильных работах – ожоги брызгами расплавленного металла и флюса.

Основным условием при пайке и лужении является проведение их в ваннах с расплавленным припоем. Рабочий должен снабжаться защитными очками, рукавицами и фартуком, что является основной мерой безопасности и предотвращения термических и химических ожогов при попадании расплавленного металла или флюса на кожу [12].

8.3 Экологическая безопасность

Обеспечение экологической безопасности технологического процесса состоит в проведении мероприятий, направленных на охрану атмосферы, гидросферы и литосферы от вредных выбросов, образующихся в течение технологического процесса.

В работе используется ПК и паяльная станция. Рассмотрим влияние негативных факторов, сопутствующих эксплуатации ПК и работе на паяльной станции, на окружающую среду. При использовании ПК могут

возникнуть следующие виды негативного воздействия на окружающую среду:

- выбросы в атмосферу углекислого газа и образование тепла при пожаре;
- загрязнение почвы при утилизации старого ПК.

ПК после завершения использования (срока эксплуатации) можно отнести к отходам электронной промышленности, согласно ГОСТ Р ИСО 1410-2010. Переработка такого рода отходов осуществляется разделением на однородные компоненты, химическим выделением пригодных для дальнейшего использования компонентов и направлением их для дальнейшего использования: кремний, алюминий, золото, серебро, редкие металлы.

Пластмассовые части ПК утилизируются при высокотемпературном нагреве без доступа воздуха. ПК может содержать: тяжелые металлы, печатные платы с замедлителями горения, которые при горении могут выделять опасные диоксиды. Для опасных отходов используют теплоту сжигания, то есть специальные печи, такой способ не исключает образования токсичных выбросов.

Отходы, которые не подлежат переработке, утилизации или вторичному использованию, подлежат захоронению на полигонах или в почве. Большое значение имеют нормативы предельно допустимых концентраций токсичных веществ в почве (ПДК, мг/кг) в соответствии с [13].

При пайке могут возникнуть следующие виды негативного воздействия на окружающую среду:

- при перегреве припоя выше температуры 500 °С происходит образование паров свинца.
- при перегреве припоя выше температуры 232 °С происходит образование паров олова.

Для избегания перегрева паяльника следует ознакомиться с его техническими характеристиками и необходимым напряжением питания для

него. Обычно ситуации перегрева паяльника возникает при подключении к сети питания с напряжением, значительно выше номинального. В таких случаях необходимо использовать понижающие трансформаторы, чтобы добиться необходимого напряжения. Менее безопасным является способ периодического включения/отключения паяльника.

Наиболее безопасным способом избегания перегрева является использование паяльных станций, которые имеют возможность нагрева до определённой температуры. При использовании таких паяльных станций выделение паров свинца из припоя сводится к нулю.

8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В аудиторном помещении наиболее вероятно ЧС техногенного характера – пожар (возгорание).

8.4.1 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики и активной пожарной защиты. Пожарная профилактика включает комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожара или уменьшение его последствий. Активная пожарная защита – меры, обеспечивающие успешную борьбу с пожарами или взрывоопасной ситуацией.

Возникновение пожара в помещении, где установлена вычислительная и оргтехника, приводит к большим материальным потерям и возникновению чрезвычайной ситуации. Чрезвычайные ситуации приводят к полной потере информации и большим трудностям восстановления всей информации в полном объёме.

Согласно нормам технологического проектирования [14], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д.

Данное помещение относится к категории В, производства, связанные с обработкой или применением твердых сгораемых веществ и материалов.

Для исключения возникновения пожара необходимо:

- вовремя выявлять и устранять неисправности;
- не использовать открытые обогревательные приборы, приборы кустарного производства в помещении лаборатории;
- определить порядок и сроки прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму, а также назначить ответственного за их проведения.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, произвести эвакуацию и приступить к ликвидации пожара огнетушителями. При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

Для тушения пожаров в помещении необходимо установить углекислотный огнетушитель типа ОУ-5. Покидать помещение необходимо согласно плану эвакуации, на рисунке 8.4.1.1.

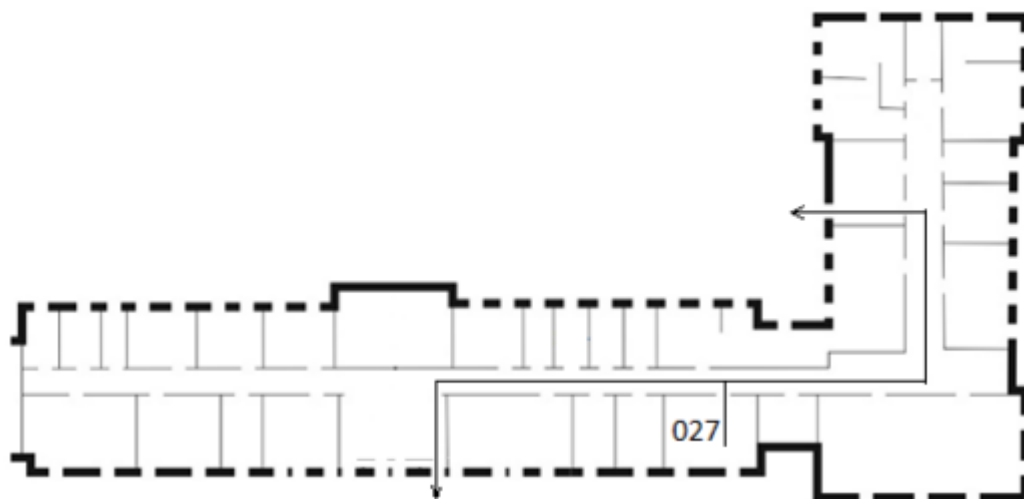


Рисунок 8.4.1.1– План эвакуации при пожаре и других ЧС

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В ходе выполнения раздела были выявлены и проанализированы вредные и опасные факторы. Для них были установлены средства, которые

помогают защитить человека, который находится в данном помещении, от выявленных вредных и опасных факторов.

Аналізу были подвергнуто влияние работы на рабочем месте на окружающую среду. Установлено, что после работы остаются отходы при выходе из строя ПК и при пайке, которые при неправильной утилизации будут влиять на литосферу и атмосферу Земли. Выявлено, что отходы утилизируются согласно ГОСТ.

Кроме того, исследовались правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

В итоге, установлено, что рабочее место соответствует ГОСТ по защищённости от вредных и опасных факторов, при работе соблюдаются правила по утилизации полученных отходов. Так же она соответствует правовым нормам и имеет соответствующую компоновку рабочей зоны.

Заключение

Результатом выполнения данной работы является программно-аппаратный комплекс для управления роботом-манипулятором.

Произведена замена системы управления робота-манипулятора на более совершенную, которая использует доступное программное обеспечение, имеет возможности последующего добавления функций манипулятору и вводит дополнительные программные ограничения на перемещение звеньев. Так же данная система управления имеет автоматический режим работы.

В будущем полученные результаты будут использованы для усовершенствования программно-аппаратного комплекса с целью расширения его функционала.

Список использованных источников

1. Промышленные роботы // TADVISER: [Электронный ресурс]. Дата обновления: 25.04.2019. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D1%8B – Дата обращения: 30.05.2019.
2. Шаговый двигатель // Википедия: [Электронный ресурс]. Дата обновления: 23.06.2017. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C – Дата обращения: 1.02.2019.
3. Программное обеспечение KUKA.Sim // KUKA URL: <https://www.kuka.com> – Дата обращения: 20.05.2019
4. Dobot // Robotic Arm for Education URL: <https://www.dobot.cc/> – Дата обращения: 19.05.2019.
5. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 1.04.2019).
6. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
7. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
8. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
9. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
10. ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

11. Безопасность при пайке. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: <http://elektrik.info/main/school/570-что-такое-пайка-bezopasnostpri-payke.html> – Дата обращения: 20.05.2019.
12. ГОСТ IEC 60950-1-2014. Межгосударственный стандарт. Оборудование информационных технологий. Требования безопасности. Часть 1. Общие требования.
13. ГН 2.2.6.1762-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) микроорганизмов-продуцентов, бактериальных препаратов и их компонентов в воздухе рабочей зоны».
14. НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

Приложение А
(обязательное)
Раздел на иностранном языке

Раздел 1
Робот-манипулятор
Robot Manipulator

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ71	Киль Николай Викторович		

Консультант школы отделения (НОЦ) ИШИТР ОАР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Пичугова Инна Леонидовна			

Introduction

A robot manipulator is a device consisting of a mechanical arm and a reprogrammable control system, which is used to move objects in space and to perform different production processes.

A robotic arm is an important component of automated flexible manufacturing systems that allows you to increase productivity.

There is an expansion of the robotics market in Russia and in the world, according to a report by the Russian Association of Robotics (RAR), 860 industrial robots were installed in Russia in 2018, which is 21 % more than in 2017 [1].

In addition to the commissioning of new units of robotics, there is also the task of maintaining the functioning of older models of industrial robots. At a time when the software and the element base of the control system become obsolete morally and physically, the mechanical part of the robot remains relevant and operational. In this regard, the proposed development of a new control system instead of obsolete.

The purpose of this work is to develop a software and hardware system for controlling a robotic arm.

The control unit for the considered model of the manipulator is outdated morally and physically, so it was decided to modernize the existing control system. Modernization involves the use of more accessible software, the possibility of further adding features and capabilities to the manipulator, the addition of software limitations on the movement of links and the addition of automatic operation.

1 Robot manipulator

1.1 Parameters of the robotic manipulator

The manipulator has parameters in accordance with table 1.1.1.

Table 1.1.1 - Characteristics of the robotic arm

The number of degrees of freedom	5+grab
Maximum wrist departure	420 mm
Link Angles	
Base	(minus 130 – 130)°
Shoulder	(minus 30 – 130)°
Forearm	(minus 30 – 130)°
Wrist inclination	(minus 130 – 50)°
Wrist rotation	(minus 95 – 95)°
Loading capacity at the maximum departure	100 g
Grip opening size	(0 – 70) mm
Minimum pitch	
Base	0,06°
Shoulder	0,06°
Forearm	0,06°
Wrist inclination	0,3°
Wrist rotation	0,01°
Power supply	12 V
Base length	196 mm
Shoulder length	160 mm
Forearm length	180 mm

The appearance of this manipulator is shown in Figure 1.1.1.

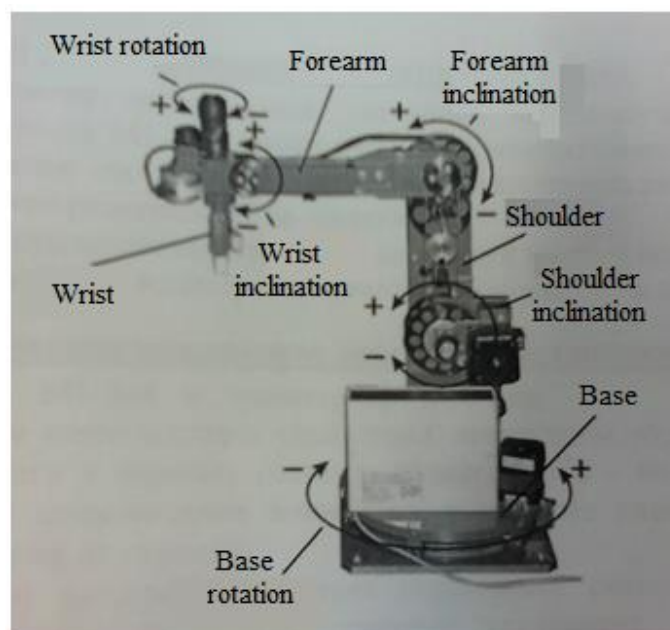
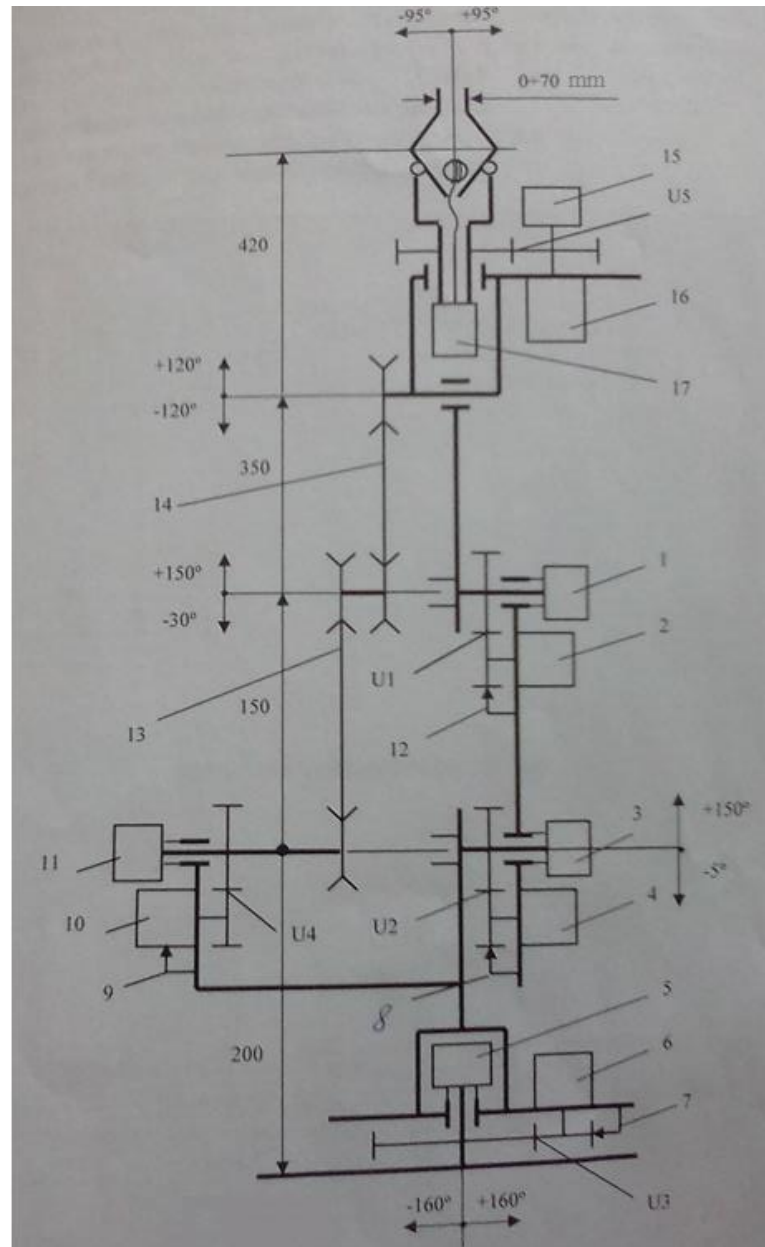


Figure 1.1.1 – Manipulator

The schematic image is presented in Figure 1.1.2.



1,3,5,11,15 - potentiometers SP5-21; 2,4,6,10,16 - stepper motors;
13,14 - cable transfer; 17 - gear motor; 7,8,9,12 - zero-contact (slot
optocoupler).

Figure 1.1.2 - The scheme of the manipulator

1.2 Stepper motor

A stepper motor is a synchronous brushless motor with several windings, in which the current supplied to one of the stator windings causes the rotor to lock. Sequential activation of the motor windings causes discrete angular displacements (steps) of the rotor (Figure 1.2.1).



Figure 1.2.1 - Stepper Motor

It is necessary to calculate the necessary moments of the engines for the base, shoulder and forearm with the maximum reach of the wrist. In this case, the requirements for engines will be the maximum.

According to table 1.1.1, the maximum reach of the brush is 420 mm. For convenience, let's take a mass of links and cargo equal to 5 kg.

Calculate the moment by the formula (1):

$$M1 = F \cdot r = m \cdot (g + a) \cdot r, \quad (1)$$

where $M1$ – the moment of the first link, Nm;

F – force, N;

r – shoulder, m;

m – the mass, kg;

g – gravitational acceleration, m / s^2 ;

a – required acceleration of the link, m / s^2 .

$$\text{So, } M1 = 5 \cdot (10 + 0,8) \cdot 0,42/2 = 11,34 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Since the gears are used in the construction of the manipulator, the resulting value must be reduced in accordance with the gear ratio ($\mu = 30$). We obtain that the stepper motor, which is responsible for the movements of the shoulder, must have a moment of at least $M1 = 0,38 \text{ Nm} = 3.80 \text{ kg} \cdot \text{cm}$.

Similarly, we calculate the time for the engine forearm. The distance between the fulcrum and the load is 260 mm (Table 1.1). The mass of the links and the load will be equal to 3 kg.

$$M2 = F \cdot r = m \cdot (g + a) \cdot r = 3 \cdot (10 + 0,8) \cdot 0,26/2 = 4,21 \text{ Nm},$$

where M_2 – the moment of the second link, Nm.

In the forearm gears are also used with gear ratio $\mu = 30$. Therefore, $M_2 = 0.14 \text{ Nm} = 1.40 \text{ kg} \cdot \text{cm}$.

To calculate the moment for the motor base, take the mass of the shoulder and forearm equal to 5 kg and a distance of 420 mm. The mass of the base is taken equal to 10 kg with a distance of 20 mm.

$$M_0 = F \cdot r = m \cdot (g + a) \cdot r,$$

where M_0 is the base moment, Nm.

$$\text{So, } M_0 = 5 \cdot (0 + 0,8) \cdot 0,42/2 + 10 \cdot (0 + 0,8) \cdot 0,02/2 = 0,92 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Gear ratio gear base is equal to $\mu = 30$. $M_0 = 0,03 \text{ Nm} = 0,3 \text{ kg} \cdot \text{cm}$.

In the considered manipulator the engines are used, indicated in table 1.2.1. Therefore, it can be concluded that existing engines do not need to be replaced.

Table 1.2.1 – Engines

Name	Current / phase	Resistance / phase	Inductance / phase	Torque	Length	Rotor moment of inertia	Weight
	A	Ohm	mH	kg · cm	mm	g · cm ²	kg
FL42STH 47-0406A	0,4	30	25	3,17	48	68	0,35
FL57ST56 -0606A	0,6	20	32	6,05	56	135	0,65

The bipolar stepper motor has two windings and, accordingly, is connected via four wires. The contacts of the first winding are denoted by the letters "a" and "b", and the contacts of the second winding by the letters "c" and "d".

In order for the bipolar stepping motor to rotate, it is necessary to power the windings in the order indicated in table 1.2.2. If the direction to bypass the table is selected from the top down in a circle, the engine will rotate forward, if from the bottom up, the engine rotates backward.

Table 1.2.2 - Winding connection procedure

Combination	Winding 1		Winding 2	
	a	b	c	d
1	+	-	+	-
2	-	+	+	-
3	-	+	-	+
4	+	-	-	+

After going through this cycle, the engine takes one step.

To change the polarity of the voltage on the windings, it is most convenient to use special drivers for stepper motors. Consider the L293D chip.

1.3 Chip L293D

L293D contains at once two drivers for controlling electric motors of low power (four independent channels combined in two pairs). It has two pairs of inputs for control signals and two pairs of outputs for connecting electric motors. In addition, the L293D has two inputs for enabling each of the drivers. These inputs are used to control the speed of rotation of electric motors using a pulse-width modulated signal (PWM).

L293D provides power sharing for the chip and for its controlled motors, which allows you to connect electric motors with a higher supply voltage than the chip. Separating the power supply of the microcircuits and the electric motors may also be necessary to reduce the interference caused by voltage surges associated with the operation of the motors.

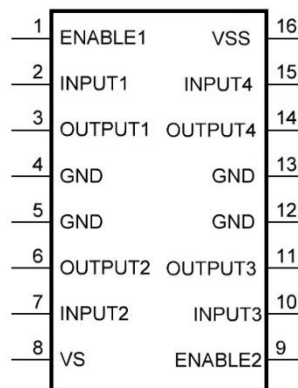


Figure 1.3.1 - L293D Driver

- The inputs ENABLE1 and ENABLE2 are responsible for the inclusion of each of the drivers included in the chip.
- The INPUT1 and INPUT2 inputs control the winding connected to the OUTPUT1 and OUTPUT2 outputs.
- INPUT3 and INPUT4 inputs control a winding connected to the OUTPUT3 and OUTPUT4 outputs.

- VS contact is connected to the positive pole of the power source of the engines or simply to the positive pole of the power supply if the power supply of the circuit and the motors is the same. This contact is responsible for powering the motors.

- The VSS contact is connected to the positive pole of the power supply. This contact provides power to the microchip itself.

- Four GND pins are connected to ground (common wire or negative power supply pole). In addition, with the help of these contacts usually provide heat from the chip.

Table 1.3.1 - L293D Specifications

Motor supply voltage (Vs)	Chip supply voltage (Vss)	Permissible load current	Maximum output current	Switching speed
V	V	mA	A	kHz
4,5 – 36	5	600	1,2	5

Taking into account the characteristics of the engines used (table 1.2.1) and the characteristics of the driver (table 1.3.1), it can be concluded that at a supply voltage of 12 V there is no need for additional protection against excessive current, since it will not exceed the maximum allowed value.

$$I = \frac{U_{pw}}{R_a} = \frac{12}{20} = 0,6 \text{ A}, \quad (2)$$

где I – current, A;

U_{pw} – power supply, V;

R_a – armature resistance, Ohm.

1.4 Calculation of speed loop

Find the electromechanical constant of the stepper motor FL57ST56-0606A (table 1.2.1):

$$T_1 = \frac{L}{R} = \frac{0,032}{20} = 0,0016,$$

where T_1 - the electromechanical time constant, s;

L - the inductance of the armature, H;

R - armature resistance, Ohm;

Find the frequency:

$$\vartheta = \frac{1}{T_1} = 625,$$

where ϑ – the frequency, Hz;

The resulting number means how many times the motor winding is able to work in one second.

According to Kotelnikov's theorem, “any function $F(t)$ consisting of frequencies from 0 to f can be continuously transmitted with any accuracy using numbers following each other in $1 / (2f)$ seconds”. In other words, for the engine to work properly, the resulting value must be reduced by at least 2 times. $\vartheta = 312.5$.

Also, according to table 1.2.2, the windings change their polarity two times per cycle. Thus, the frequency value should be reduced by another two times. $\vartheta \approx 156$.

In one cycle, the engine rotates 1.8° . A complete revolution of the engine will make for 200 such cycles. $\omega_1 = / 200 \approx 0,75 \text{ rev/sec} = 45 \text{ rev/min}$.

This type of engine is used in the shoulder.

Similarly, the maximum speed of the second engine FL42STH47-0406A is found.

$$T_2 = \frac{L}{R},$$
$$\vartheta_2 = \frac{1}{T_2} = 1200.$$

According to the Kotelnikov theorem and a change in polarity twice per cycle, we reduce the resulting value by a total of 4 times. $\vartheta_2 = 300 \text{ Hz}$.

This engine also makes a full turn in 200 cycles, so the maximum speed of rotation $\omega_2 = 1.5 \text{ rev / sec} = 90 \text{ rev / min}$.

This type of engine is used in the base and forearm.

1.5 Optocoupler

Since stepper motors can only move a certain number of steps relative to the previous position, there is a problem of taking the starting (or starting) position. To solve this problem, slit optocouplers are present in the manipulator.

An optocoupler is an electronic device consisting of a light emitter and a photo-receiver (bipolar and field phototransistors, photodiodes, photothyristors, photoresistors) connected by an optical channel and, as a rule, united in a common package. The principle of the optocoupler is to convert an electrical signal into light, transmit it through the optical channel and then convert it back into an electrical signal.

The Diagram of the optocoupler is shown in Figure 1.5.1.

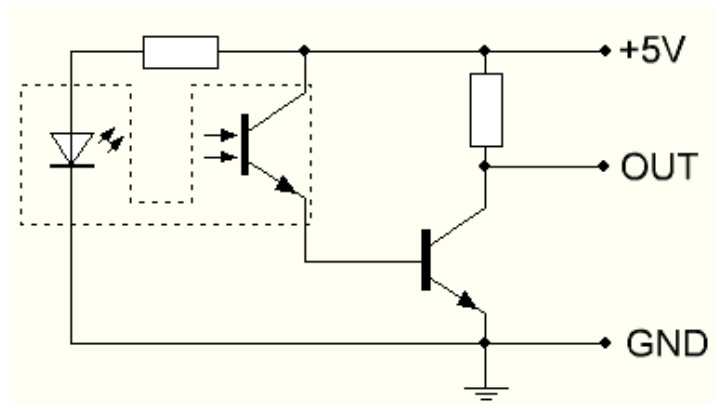


Figure 1.5.1 - Diagram of the optocoupler

If nothing blocks the photodetector, then the output will be high voltage, otherwise - low. An exemplary disk is used as a barrier, which blocks the light from the emitter if the link of the manipulator is outside the initial position. An example of a model disk is presented in Figure 1.5.2.

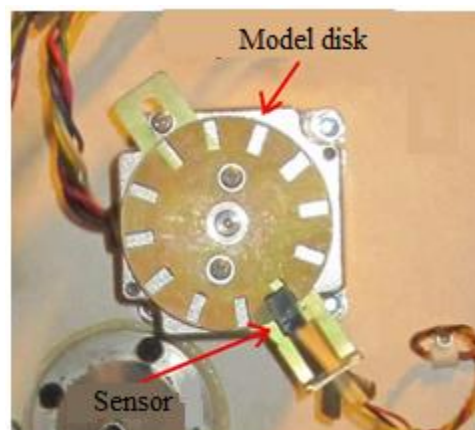


Figure 1.5.2 - An example of using a optocoupler

2 Solution of the inverse kinematics problem

In robotics, there are two main tasks of kinematics: direct and inverse.

Direct problem - This is the calculation of the position (X, Y, Z) of the working body of the manipulator according to its kinematic scheme and a given orientation ($q_1, q_2 \dots q_n$) of its links (n is the number of degrees of freedom of the manipulator, q is the rotation angles).

The inverse problem is the calculation of angles ($q_1, q_2 \dots q_n$) for a given position (X, Y, Z) of the working body and the known scheme of its kinematics.

Currently, many methods have been developed that can solve inverse kinematics problem for manipulators. Consider some of them.

2.1 Geometric approach

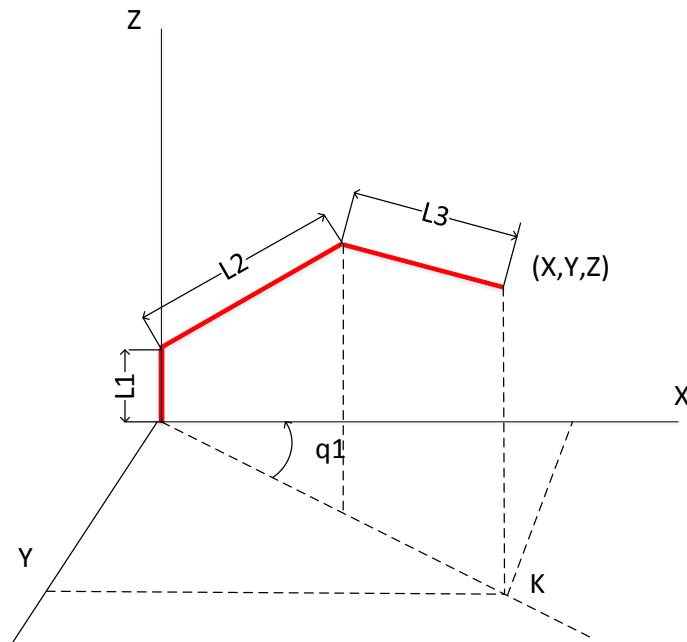


Figure 2.1.1 - Manipulator in the XYZ plane

The direct kinematics problem for a given manipulator can be solved using equations (Figure 2.1.1).

$$x = l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \cos(q_1) + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \cos(q_1); \quad (3)$$

$$y = l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \sin(q_1) + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \sin(q_1); \quad (4)$$

$$z = l_1 + l_2 \cdot \sin(q_2) + l_3 \cdot \sin(q_3). \quad (5)$$

where x, y, z – the coordinates of the working body;

l_1, l_2, l_3 – the length of the links of the manipulator;

q_1, q_2, q_3 — the angles of rotation of the links of the manipulator.

The angle q_1 is found using equations (3) and (4). We derive $\cos(q_1)$ and $\sin(q_1)$ from the equations, and divide equation (4) by (3) and obtain:

$$\frac{y}{x} = \operatorname{tg}(q_1),$$

$$q_1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{y}{x}\right).$$

If we know q_1 , we can go to the KZ plane (Figure 2.1.2).

$$K = \frac{x}{\cos(q_1)} = \frac{y}{\sin(q_1)}.$$

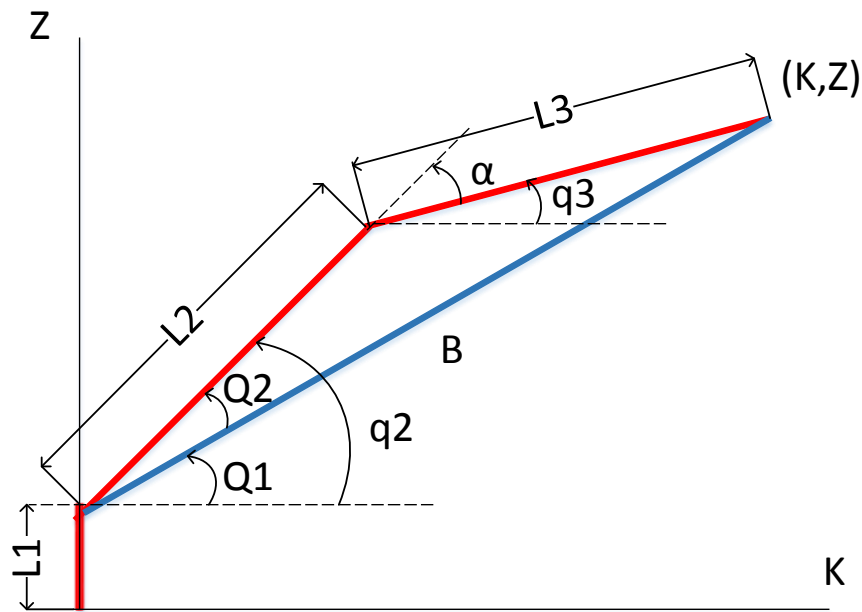


Figure 2.1.2 - Manipulator in the KZ plane

Draw a line B connecting the beginning of the second link and the end of the third. The length of the line is equal to

$$B = \sqrt{(z - L1)^2 + \left(\frac{x}{\cos(q_1)}\right)^2}.$$

The angle $Q1$ is found from the relation

$$Q1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{z - L1}{\frac{x}{\cos(q_1)}}\right).$$

The angle $Q2$ can be found using the cosine theorem

$$Q2 = \arccos\left(\frac{L2^2 - L3^2 + B^2}{2 \cdot B \cdot L2}\right).$$

Add $Q1$ and $Q2$ and get $q2$.

$$q2 = Q1 + Q2.$$

When determining the angle $q3$, we also use the cosine theorem:

$$q3 = q2 - \left(\pi - \arccos \left(\frac{L2^2 + L3^2 - B^2}{2 \cdot L2 \cdot L3} \right) \right).$$

The program listing for solving the inverse problem of kinematics by the geometric approach is presented in Figure 2.1.3.

```
tic;
x=15;y=10;z=15;
l1=5;l2=20;l3=20;
q1=atan(y/x);
B=sqrt((z-l1)^2+(x/cos(q1))^2);
Q1=atan((z-l1)/(x/cos(q1)));
Q2=acos((l2^2-l3^2+B^2)/(2*B*l2));
q2=Q1+Q2;
q3=q2-(pi-acos((l2^2+l3^2-B^2)/(2*l2*l3)));
q11=q1*180/pi
q22=q2*180/pi
q33=q3*180/pi
x=l2*cos(q22*pi/180)*cos(q11*pi/180)+l3*cos(q33*pi/180)*cos(q11*pi/180)
y=l2*cos(q22*pi/180)*sin(q11*pi/180)+l3*cos(q33*pi/180)*sin(q11*pi/180)
z=l1+sin(q22*pi/180)*l2+l3*sin(q33*pi/180)
t1=toc
```

Figure 2.1.3 – The program listing

2.2 Penalty function method

The method of penalty functions belongs to the group of indirect methods for solving problems of nonlinear programming [2]. Consider the method of applying the method of penalty functions for solving the inverse problem of the kinematics of a manipulator, the scheme of which is shown in Figure 1.2.

The coordinates of the gripper position are determined from the ratios

$$x = l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \cos(q_1) + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \cos(q_1);$$

$$y = l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \sin(q_1) + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \sin(q_1);$$

$$z = l_1 + l_2 \cdot \sin(q_2) + l_3 \cdot \sin(q_3),$$

Consider the criterion:

$$J = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i^2 \rightarrow \min.$$

We add an extended criterion:

$$\begin{aligned}
J_p = & \frac{1}{2}(q_1^2 + q_2^2 + q_3^2) + \frac{1}{2}(x - l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \cos(q_1) - l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \cos(q_1))^2 + \\
& + \frac{1}{2}(y - l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \sin(q_1) - l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \sin(q_1))^2 + \\
& + \frac{1}{2}(z - l_1 - l_2 \cdot \sin(q_2) - l_3 \cdot \sin(q_3))^2 \rightarrow \min.
\end{aligned}$$

To minimize the extended criterion, we use the gradient method. To do this, we calculate the partial derivatives on the generalized coordinates:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial J_p}{\partial q_1} = & q_1 - (l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \sin(q_1) + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \sin(q_1)) \cdot (l_2 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_2) - \\
& - x + l_3 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_3)) + (l_2 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_2) + l_3 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_3)) \times \\
& \times (l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \sin(q_1) - y + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \sin(q_1)); \\
\frac{\partial J_p}{\partial q_2} = & q_2 + l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot (l_1 - z + l_2 \cdot \sin(q_2) + l_3 \cdot \sin(q_3)) - l_2 \cdot \cos(q_1) \cdot \sin(q_2) \times \\
& \times (l_2 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_2) - x + l_3 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_3)) - l_2 \cdot \sin(q_1) \cdot \sin(q_2) \times \\
& \times (l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \sin(q_1) - y + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \sin(q_1)); \\
\frac{\partial J_p}{\partial q_3} = & q_3 + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot (l_1 - z + l_2 \cdot \sin(q_2) + l_3 \cdot \sin(q_3)) - l_3 \cdot \cos(q_1) \cdot \sin(q_3) \times \\
& \times (l_2 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_2) - x + l_3 \cdot \cos(q_1) \cdot \cos(q_3)) - l_3 \cdot \sin(q_1) \cdot \sin(q_3) \times \\
& \times (l_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \sin(q_1) - y + l_3 \cdot \cos(q_3) \cdot \sin(q_1)).
\end{aligned}$$

Thus, the values of the generalized coordinates are determined from the ratio:

$$\dot{q}_i = -\frac{\partial J_p}{\partial q_i}.$$

The above algorithm is implemented in Matlab.

The listing of the program for calculating the J_p criterion and the partial derivatives \dot{q}_i is presented in Figure 2.2.1. The listing of the program for calculating nonlinear equality constraints and their gradient is shown in Figure 2.2.2. The main part of the program is presented in Figure 2.2.3.

```

function [f,G]=objfungrad(q)
x=10;y=0;z=15;
l1=5;l2=20;l3=20;
f=1/2*((q(1))^2+(q(2))^2+(q(3))^2)+1/2*(x-l2*cos(q(2))*cos(q(1))-
l3*cos(q(3))*cos(q(1)))^2+1/2*(y-l2*cos(q(2))*sin(q(1))-
l3*cos(q(3))*sin(q(1)))^2+1/2*(z-l1-l2*sin(q(2))-l3*sin(q(3)))^2;
G=[q(1)-
(l2*cos(q(2))*sin(q(1))+l3*sin(q(1))*cos(q(3)))*(l2*cos(q(2))*cos(q(1))-
x+l3*cos(q(3))*cos(q(1)))+(l2*cos(q(2))*cos(q(1))+l3*cos(q(3))*cos(q(1)))*(l2
*cos(q(2))*sin(q(1))-y+l3*sin(q(1))*cos(q(3))),
q(2)+l2*cos(q(2))*(l2*sin(q(2))-z+l3*sin(q(3))+l1)-
l2*cos(q(1))*sin(q(2))*(l2*cos(q(1))*cos(q(2))-x+l3*cos(q(1))*cos(q(3))-
l2*sin(q(1))*sin(q(2)))*(l2*cos(q(2))*sin(q(1))-y+l3*cos(q(3))*sin(q(1))),
q(3)+l3*cos(q(3))*(l2*sin(q(2))-z+l3*sin(q(3))+l1)-
l3*cos(q(1))*sin(q(3))*(l2*cos(q(1))*cos(q(2))-x+l3*cos(q(1))*cos(q(3))-
l3*sin(q(1))*sin(q(3)))*(l2*cos(q(2))*sin(q(1))-y+l3*cos(q(3))*sin(q(1)))] ;

```

Figure 2.2.1 – Calculation of the criterion J_p and partial derivatives \dot{q}_i

```

function [c,ceq,DC,DCEq] = confun(q)
c=[];
x=10;y=0;z=15;
l1=5;l2=20;l3=20;
ceq(1)=l2*cos(q(2))*cos(q(1))+l3*cos(q(3))*cos(q(1))-x;
ceq(2)=l2*cos(q(2))*sin(q(1))+l3*cos(q(3))*sin(q(1))-y;
ceq(3)=l1+sin(q(2))*l2+l3*sin(q(3))-z;
DC=[];
DCEq=[-l3*cos(q(3))*sin(q(1))-l2*cos(q(2))*sin(q(1)),
l2*cos(q(1))*cos(q(2))+l3*cos(q(1))*cos(q(3)), 0;
-l2*cos(q(1))*sin(q(2)), -l2*sin(q(1))*sin(q(2)), l2*cos(q(2));
-l3*cos(q(1))*sin(q(3)), -l3*sin(q(1))*sin(q(3)), l3*cos(q(3))];

```

Figure 2.2.2 – Calculation of nonlinear equality constraints and their gradient

```

tic;
q0=[0,1.5,0];
options=optimset('LargeScale','off');
options=optimset(options,'GradObj','on','GradConstr','on');
lb=[-5,-5,-5]; ub=[5,5,5];
[q,fval]=fmincon('objfungrad',q0,[],[],[],[],lb,ub,'confun',options)
s=q*180/3.14
x=l2*cos(q(2))*cos(q(1))+l3*cos(q(3))*cos(q(1));
y=l2*cos(q(2))*sin(q(1))+l3*cos(q(3))*sin(q(1));
z=l1+sin(q(2))*l2+l3*sin(q(3));
s=[x,y,z]
t1=toc;

```

Figure 2.2.3 – Listing the main part of the program

2.3 FABRIK method

The task of inverse kinematics is the search for such a set of articulation configurations that would ensure the softest, quickest and most accurate movement to the given points. However, many existing methods suffer from such disadvantages as high computational complexity and unnaturalness of the resulting postures.

FABRIK avoids the use of rotations and matrices in favor of directly obtaining a point on the line. Because of this, the computation costs only a few iterations, has a low computation cost and a visually natural posture as a result. FABRIK easily handles the imposition of constraints, as well as the use of multiple chains and / or end points.

The program listing is presented in application B

2.4 Hierarchical approach

Let the target position and orientation of the gripper in the work space coordinate system are represented by the coordinate transformation matrix T_N :

$$T_N = T_0 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_i \cdot \dots \cdot A_N,$$

where T_N – the target position and orientation of the gripper;

T_0 – initial positions and orientation of the gripper;

$A_1 \dots A_N$ – coordinate transformation matrices.

The initial position of the actuator is determined by the initial values of the generalized coordinates q_1, q_2, \dots, q_N .

The solution of the inverse problem of kinematics is to gradually approach the given position and orientation of the gripper by changing (increasing or decreasing) the values of the generalized coordinates in the same sequence in which the selected joints should move.

The decision process is cyclical. At each step of the cycle, the generalized coordinates of the selected M joints are sorted in the above sequence, a series of actions are performed on each coordinate, described below.

Each generalized coordinate varies according to the formula:

$$q_i = q_{i-1} + \text{sign}(q_i) \cdot \Delta q_i,$$

where q_{i-1}, q_i – the values of the generalized coordinate at the previous and current iterations, respectively,

$\text{sign}(q_i)$ – the sign of the increment of the generalized coordinate,

Δq_i – the value of the increment of the generalized coordinate.

Then for this generalized coordinate the following checks are made:

- verification of the influence of the generalized coordinate on the distance from the gripper to the target and / or on the orientation of the gripper;
- verification of the achievement of the generalized coordinate of the limits of its change established by the developer.

Depending on the results of the checks, the following actions are taken:

1. If the distance to the target has decreased and / or the gripper orientation has become closer to the desired one, then no additional adjustments are needed, go to the next generalized coordinate.
2. If a change in the generalized coordinate resulted in a distance from the target or an increase in the angular deviation from the target position, but its value has not yet reached the limits of change, the increment sign of this coordinate is reversed.
3. If the value of the generalized coordinate has reached the limits of the change, then the corresponding increment also changes its sign. If, after changing the sign of the increment, the gripper is still removed from the target, then the last change of the generalized coordinate is canceled.

The error search function is shown in Figure 2.4.1. The listing of the program for solving the inverse kinematics problem by a hierarchical approach is presented in Figure 2.4.2.

```
function [Err]=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z)
A11=[cos(q1) -sin(q1) 0 0; sin(q1) cos(q1) 0 0;
     0 0 1 0;0 0 0 1];
A12=[1 0 0 0;0 1 0 0;0 0 1 5;0 0 0 1];
A21=[cos(q2) 0 sin(q2) 0 ;0 1 0 0; -sin(q2) 0 cos(q2) 0;
     0 0 0 1];
A22=[1 0 0 20;0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1];
A31=[cos(q3) 0 sin(q3) 0 ;0 1 0 0; -sin(q3) 0 cos(q3) 0;
     0 0 0 1];
A32=[1 0 0 20;0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1];
A1=A11*A12;
A2=A21*A22;
A3=A31*A32;
T=Tc*A1*A2*A3;
Err=sqrt((x-T(1,4))^2+(y-T(2,4))^2+(z-T(3,4))^2);
```

Figure 2.4.1 – The error search function

```

tic;
Tc=[1 0 0 0;0 1 0 0;0 0 1 0; 0 0 0 1];
q1=0.0; q2=-1.57; q3=1.57;
x=15;y=10;z=15;
f=0;
f1=0;
Err=60;
Err=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z);
    while (f~=1)
        q1=q1+0.0001;
        Err1=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z);
        if Err1<Err
            Err=Err1;
        else
            q1=q1-0.0002;
            Err2=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z);
            if Err2<Err
                Err=Err2;
            else
                f=1;
            end
        end
    end
    while (f1~=1)
        q2=q2+0.0001;
        Err1=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z);
        if Err1<Err
            Err=Err1;
        else
            q2=q2-0.0002;
            Err2=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z);
            if Err2<Err
                Err=Err2;
            else
                end
            end
        end
        q3=q3+0.0001;
        Err1=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z);
        if Err1<Err
            Err=Err1;
        else
            q3=q3-0.0002;
            Err2=Errsearch(q1,q2,q3,Tc,x,y,z);
            if Err2<Err
                Err=Err2;
            else
                end
            end
        end
        if Err<0.1
            f1=1;
        end
    end
    end
q11=q1*180/pi
q22=-q2*180/pi
q33=(-q3-q2)*180/pi
t1=toc

```

Figure 2.4.1 – The listing of the program for solving the inverse kinematics problem by a hierarchical approach

Conclusion

The result of this work is a software and hardware system for controlling the robot manipulator.

Replaced the control system of the robot manipulator with a more advanced one, which uses the available software, has the possibility of further adding functions to the manipulator and introduces additional software restrictions on the movement of links. Also, this control system has an automatic mode of operation.

In the future, the results will be used to improve the software and hardware complex in order to expand its functionality.

Приложение Б

(обязательное)

Листинг программы решения обратной задачи кинематики методом FABRIK

```
#include "stdafx.h"
#include <iostream>
#include <stdlib.h>
#include <cmath>
#include <ctime>
#define M_PI 3.14159265358979323846
using namespace std;
void main(void)
{
    float start_time = clock();
    system("cls");
    int i;
    float d[2];
    float r[2];
    float lambda[2];
    float b[1][3];
    float DIFa;
    //Положение звеньев
    float p[3][3]={
        {0,0,0},
        {0,0,20},
        {20,0,20}};
    float p1[3][3];
    //Координаты цели
    float t[1][3];
    float t1[1][3]={15,7,10};
    //Расчет угла порота первого звена
    float a= atan(t1[0][1]/t1[0][0]);
    //Расчет координат в пространстве X'Z'
    t[0][0]=t1[0][0]/cos(a);
    t[0][1]=0;
    t[0][2]=t1[0][2]-5;
    //Расстояние между звеньями
    for (int i=0; i<2;i++)
        d[i]= sqrt((p[i+1][0]-p[i][0])*(p[i+1][0]-p[i][0])+(p[i+1][1]-p[i][1])*(p[i+1][1]-
p[i][1])+(p[i+1][2]-p[i][2])*(p[i+1][2]-p[i][2]));
    ///Дистанция между стойкой и целью
    float dist=sqrt((t[0][0]-p[0][0])*(t[0][0]-p[0][0])+(t[0][1]-p[0][1])*(t[0][1]-
p[0][1])+(t[0][2]-p[0][2])*(t[0][2]-p[0][2]));

    if (dist>d[0]+d[1])
    {
        //Цель недостижима
        for (int i=0;i<3;i++)
        {
            //Дистанции между целью и узлами
            r[i]= sqrt((t[0][0]-p[i][0])*(t[0][0]-p[i][0])+(t[0][1]-
p[i][1])*(t[0][1]-p[i][1])+(t[0][2]-p[i][2])*(t[0][2]-p[i][2]));

            lambda[i]= d[i]/r[i];
        }
        for (i=0;i<2;i++)
        {
            //Новые позиции узлов
            for (int j=0;j<3;j++)
```

```

        p[i+1][j]=(1-lambda[i])*p[i][j]+lambda[i]*t[0][j];
    }
}
else
{
    // Запоминаем координаты стойки в b
    for (i=0;i<3;i++)
    {
        b[0][i]=p[0][i];
    }
    DIFa=sqrt((t[0][0]-p[2][0])*(t[0][0]-p[2][0])+(t[0][1]-p[2][1])*(t[0][1]-
p[2][1])+(t[0][2]-p[2][2])*(t[0][2]-p[2][2]));
    //Проверка дистанции между схватом и целью
    while (DIFa>0.001)
    {
        //Этап 1 : прямое следование
        //Устанавливаем конечный узел p[n] на позицию цели
        for (i=0;i<3;i++)
        {
            p[2][i]=t[0][i];
        }
        for (int i=1;i>-1;i--)
        {
            //Дистанции между узлом p(i) и новой позицией p(i+1)
            r[i]= sqrt((p[i+1][0]-p[i][0])*(p[i+1][0]-p[i][0])+(p[i+1][1]-
p[i][1])*(p[i+1][1]-p[i][1])+(p[i+1][2]-p[i][2])*(p[i+1][2]-p[i][2]));

            lambda[i]= d[i]/r[i];
            //Новые позиции узлов
            for (int j=0;j<3;j++)
            p[i][j]=(1-lambda[i])*p[i+1][j]+lambda[i]*p[i][j];
        }
        //Этап 2: обратное следование
        //Устанавливаем элементу p[0] начальную позицию
        for (i=0;i<3;i++)
        {
            p[0][i]=b[0][i];
        }
        for (int i=0;i<2;i++)
        {
            //Дистанции между целью и узлами
            r[i]= sqrt((p[i+1][0]-p[i][0])*(p[i+1][0]-p[i][0])+(p[i+1][1]-
p[i][1])*(p[i+1][1]-p[i][1])+(p[i+1][2]-p[i][2])*(p[i+1][2]-p[i][2]));

            lambda[i]= d[i]/r[i];
            //Новые позиции узлов
            for (int j=0;j<3;j++)
            p[i+1][j]=(1-lambda[i])*p[i][j]+lambda[i]*p[i+1][j];
        }
        DIFa=sqrt((t[0][0]-p[2][0])*(t[0][0]-p[2][0])+(t[0][1]-
p[2][1])*(t[0][1]-p[2][1])+(t[0][2]-p[2][2])*(t[0][2]-p[2][2]));
        for(int i=0; i<3; i++)
        {
            for(int j=0; j<3; j++)
            {
                cout << p[i][j] << "\t";
            }
            cout << endl;
        }
        cout << DIFa << endl;
    }
}
}
}

```

```

        for(int i=0; i<2; i++)
        {
            cout << lambda[i] << "\t";
        }
        cout << DIFa << endl;
    cout << endl;
    for(int i=0; i<3; i++)
    {
        for(int j=0; j<3; j++)
        {
            p1[i][0]=p[i][0]*cos(a);
            p1[i][1]=p[i][0]*sin(a);
            p1[i][2]=p[i][2]+5;
            cout << p1[i][j] << "\t";
        }
        cout << endl;
    }
    float a2 = asin((p[1][2]-p[0][2])/20);
    float a3 = asin((p[2][2]-p[1][2])/20);
    float a11= a*180/M_PI;
    float a22= a2*180/M_PI;
    float a33= a3*180/M_PI;
    cout << a11 << endl;
    cout << a22 << endl;
    cout << a33 << endl;
    float end_time = clock();
    float search_time = end_time - start_time;
    cout << search_time << endl;
    system("pause");
}

```

Приложение В

(обязательное)

Листинг программы Arduino

```
#include <Stepper.h>
#include <SoftwareSerial.h>
String str;
char buffer[40];
String strOut="st";
float m1,m2,m3,m4,m5,m6;
float previous1,previous2,previous3=0;
float previous4,previous5,previous6=0;
int k=0;
int r1,r2,r3,r4,r5=0;
Stepper motor1(200, 13,12,10,11);
Stepper motor2(200, 9,8,6,7);
Stepper motor3(200, 2,3,5,4);
Stepper motor4(200, A8,A9,A11,A10);
Stepper motor5(200, 47,45,41,43);
Stepper motor6(200, 25,27,31,29);
void setup()
{
  pinMode(13, OUTPUT); // Motor1 13,12,10,11
  pinMode(12, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT); //Motor2 9,8,6,7
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT); //Motor3 2,3,5,4
  pinMode(4, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(A8, OUTPUT); //Motor4 A8,A9,A10,A11
  pinMode(A9, OUTPUT);
  pinMode(A10, OUTPUT);
  pinMode(A11, OUTPUT);
  pinMode(47, OUTPUT); //Motor5 47,45,43,41
  pinMode(45, OUTPUT);
  pinMode(43, OUTPUT);
  pinMode(41, OUTPUT);
  pinMode(25, OUTPUT); //Motor6 25,27,29,31
  pinMode(27, OUTPUT);
  pinMode(29, OUTPUT);
  pinMode(31, OUTPUT);
  // эта строка для Arduino Leonardo. Генерируется задержка в серийном мониторе
  // пока он открыт
  Serial.begin(9600);
  motor1.setSpeed(20);
  motor2.setSpeed(20);
  motor3.setSpeed(20);
```

```

motor4.setSpeed(20);
motor5.setSpeed(20);
motor6.setSpeed(20);
}
void loop()
{
  while(Serial.available())
  {
    //while there is data available on the serial monitor
    str+=char(Serial.read()); //store string from serial command
  }
  str.toCharArray(buffer,40);
  m1=atoi(strtok(buffer, " "));
  if(m1==2)
  {
    r1=digitalRead(14);
    r2=digitalRead(15);
    r3=digitalRead(16);
    r4=digitalRead(17);
    r5=digitalRead(18);
    //-----
    while (r1==0)
    {
      motor1.step(-1);
      r1=digitalRead(14);
    }
    while (r1==1)
    {
      motor1.step(1);
      r1=digitalRead(14);
    }
    //-----
    while (r2==0)
    {
      motor2.step(1);
      r2=digitalRead(15);
    }
    while (r2==1)
    {
      motor2.step(-1);
      r2=digitalRead(15);
    }
    //-----
    while (r3==0)
    {
      motor3.step(-1);
      r3=digitalRead(16);
    }
    while (r3==1)
    {
      motor3.step(1);
      r3=digitalRead(16);
    }
    //-----
  }
}

```

```

while (r4==0)
{
    motor4.step(-1);
    r4=digitalRead(17);
}
while (r4==1)
{
    motor4.step(1);
    r4=digitalRead(17);
}
//-----
}
if(str!="")
{
    //if data is available
    str.toCharArray(buffer,40);
    m1=atoi(strtok(buffer," "));
    m2=atoi(strtok(NULL," "));
    m3=atoi(strtok(NULL," "));
    m4=atoi(strtok(NULL," "));
    m5=atoi(strtok(NULL," "));
    m6=atoi(strtok(NULL," "));
    str=""; //clear the data
    strOut="";
}
motor1.step(m1-previous1);
previous1 = m1;
motor2.step(m2-previous2);
previous2 = m2;
motor3.step(m3-previous3);
previous3 = m3;
motor4.step(m4-previous4);
previous4 = m4;
motor5.step(m5-previous5);
previous5 = m5;
motor6.step(m6-previous6);
previous6 = m6;
Serial.print (digitalRead(14));
Serial.print ( ' ');
Serial.print (digitalRead(15));
Serial.print ( ' ');
Serial.print (digitalRead(16));
Serial.print ( ' ');
Serial.print (digitalRead(17));
Serial.print ( ' ');
Serial.println (digitalRead(18));
Serial.print ( ' ');
delay(1000);
}

```

Приложение Г

(обязательное)

Листинг программы интерфейса

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.IO.Ports;
using System.Threading;

namespace WindowsFormsApplication1
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        double ang1old = 0;
        double ang2old = Math.PI/2;
        double ang3old = 0;
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            serialPort1.PortName = "COM3"; // Replace with your COM port!
            serialPort1.Open();
        }
        private void button4_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            serialPort1.Close();
        }
        private void button6_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            string x1 = textBox2.Text;
            string y1 = textBox3.Text;
            string z1 = textBox4.Text;
            string Out = (x1+" "+y1+" "+z1);
            serialPort1.WriteLine(Out);
            textBox1.Text = serialPort1.ReadLine();
        }

        private void lineShape1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
        }
    }
}
```



```

private void button7_Click(object sender, EventArgs e)
{
    string Out = textBox5.Text;
    serialPort1.WriteLine(Out);
}

public void animManip(double Xn, double Yn, double Zn)
{
    textBox1.Text = Xn.ToString();
}

private void button8_Click(object sender, EventArgs e)
{
    string x1 = textBox2.Text;
    string y1 = textBox3.Text;
    string z1 = textBox4.Text;
    double x = double.Parse(x1);
    double y = double.Parse(y1);
    double z = double.Parse(z1);
    double l1 = 5;
    double l2 = 20;
    double l3 = 20;
    double k = x + y + z;
    double ang1 = Math.Atan(y / x);
    double A = (Math.Pow(z - l1, 2) + Math.Pow(l2, 2) - Math.Pow(l3, 2) + Math.Pow(y /
Math.Sin(ang1), 2)) / (2 * l2);
    double ang2 = 2 * Math.Atan((-l1 + z + Math.Sqrt(Math.Pow(l1, 2) - Math.Pow(A, 2) - 2
* l1 * z + Math.Pow(y / Math.Sin(ang1), 2) + Math.Pow(z, 2))) / (A + y / Math.Sin(ang1)));
    double ang3 = -Math.Acos((y / Math.Sin(ang1) - l2 * Math.Cos(ang2)) / l3);
    double a1 = ang1 * 180 / 3.14;
    double a2 = ang2 * 180 / 3.14;
    double a3 = ang3 * 180 / 3.14;
    double a11 = Math.Round(a1, 2);
    double a22 = Math.Round(a2, 2);
    double a33 = Math.Round(a3, 2);
    double a1step = Math.Truncate(a1 / 1.8);
    double a2step = Math.Truncate(50-a2 / 1.8);
    double a3step = Math.Truncate(a3 / 1.8);
    string Out = (k + " " + y);
    String a111 = (a11 + " " + a22 + " " + a33);
    textBox1.Text = a111;
    while (((ang1old < ang1 - 0.01) | (ang1old > ang1 + 0.01)) | ((ang2old < ang2 - 0.01) |
(ang2old > ang2 + 0.01)) | ((ang3old < ang3 - 0.01) | (ang3old > ang3 + 0.01)))
    {
        if (ang2old > ang2)
            ang2old = ang2old - 0.01;
        else
            ang2old = ang2old + 0.01;
        if (ang3old > ang3)
            ang3old = ang3old - 0.01;
        else
            ang3old = ang3old + 0.01;
        if (ang1old > ang1)
            ang1old = ang1old - 0.01;
    }
}

```

```

else
    ang1old = ang1old + 0.01;
    int zv1y = (int)Math.Truncate(80 * Math.Sin(ang2old));
    int zv1x = (int)Math.Truncate(80 * Math.Cos(ang2old));
    lineShape3.X1 = 325;
    lineShape3.X2 = 325 + zv1x;
    lineShape3.Y1 = 200;
    lineShape3.Y2 = 200 - zv1y;
    int zv2y = (int)Math.Truncate(80 * Math.Sin(ang3old));
    int zv2x = (int)Math.Truncate(80 * Math.Cos(ang3old));
    lineShape4.X1 = lineShape3.X2;
    lineShape4.X2 = lineShape3.X2 + zv2x;
    lineShape4.Y1 = lineShape3.Y2;
    lineShape4.Y2 = lineShape3.Y2 - zv2y;

    int osy = (int)Math.Truncate(30 * Math.Sin(ang1old));
    int osx = (int)Math.Truncate(30 * Math.Cos(ang1old));
    lineShape5.X1 = 540;
    lineShape5.X2 = 540 + osy;
    lineShape5.Y1 = 190;
    lineShape5.Y2 = 190 - osx;

    lineShape3.Update();
    lineShape4.Update();
    lineShape5.Update();
    // animManip(1,2,2,3);
    Thread.Sleep(50);
    textBox5.Text = (a1step + " " + a2step + " " + a3step);
}
}

private void textBox4_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (textBox4.Text == "") button8.Enabled = false;
    else button8.Enabled = true;
}
}
}

```

Приложение Д

(обязательное)

Листинг программы технического зрения

```
#include <opencv2/highgui/highgui.hpp>
#include <opencv2/imgproc/imgproc.hpp>
#include <iostream>
#include <windows.h>
using namespace cv;
using namespace std;
#define _USE_MATH_DEFINES
#include <cmath>
#include <iostream>
#include "rec/robotino/com/all.h"
#include "rec/core_lt/utills.h"
#include "rec/core_lt/Timer.h"

int main( int argc, char **argv )
{
    VideoCapture cam(0);
    namedWindow("Control", CV_WINDOW_AUTOSIZE);
    int k =0;
    int radius = 1;
    int Left=100, Right=540, Up=380, Down=100;
    int iLowH = 0;
    int iHighH = 147;
    int iLowS = 0;
    int iHighS = 255;
    int iLowV = 0;
    int iHighV = 70;
    Mat imgThresholded;
    int t = 0;
    //namedWindow( "Display window", CV_WINDOW_AUTOSIZE );
    namedWindow( "result", CV_WINDOW_AUTOSIZE );
    createTrackbar("LowH", "Control", &iLowH, 179); //Hue (0 - 179)
    createTrackbar("HighH", "Control", &iHighH, 179);
    createTrackbar("LowS", "Control", &iLowS, 255); //Saturation (0 - 255)
    createTrackbar("HighS", "Control", &iHighS, 255);
    createTrackbar("LowV", "Control", &iLowV, 255); //Value (0 - 255)
    createTrackbar("HighV", "Control", &iHighV, 255);
    while (1)
    {
        Mat imgOriginal;
        bool bSuccess = cam.read(imgOriginal); // read a new frame from video
        if (!bSuccess) //if not success, break loop
        {
            cout << "Cannot read a frame from video stream" << endl;
            break;
        }
        int erosion_size = 6;
        Mat erode1;
        Mat OrigRotate;
```

```

    Mat imgHSV;
    cvtColor(imgOriginal, imgHSV, COLOR_BGR2HSV); //Convert the captured frame
from BGR to HSV
    Mat imgThresholded;
    inRange(imgHSV, Scalar(iLowH, iLowS, iLowV), Scalar(iHighH, iHighS, iHighV),
imgThresholded); //Threshold the image
//    imshow("Thresholded Image", imgThresholded); //show the thresholded image
imshow("Original", imgOriginal); //show the original image
Point2f src_center(imgOriginal.cols/2.0F, imgOriginal.rows/2.0F);
Mat rot_mat = getRotationMatrix2D(src_center, 0, 1.0);
warpAffine(imgOriginal, OrigRotate, rot_mat, imgOriginal.size());
rectangle(OrigRotate, Rect(141,381,340,480), CV_RGB(255,0,0),2);
imshow( "Display window", OrigRotate);
    Mat element = getStructuringElement(cv::MORPH_CROSS,
cv::Size(2 * erosion_size + 1, 2 * erosion_size + 1),
cv::Point(erosion_size, erosion_size) );
    erode(imgThresholded,erode1,element);
    Mat dilate1;
        dilate(erode1,dilate1,element);
//        imshow( "Display window", erode1);
Mat dst;
Mat cl;
int y1=0,y2=0,y3;
int x,x1=0,x2=0;
int y,n=0;
warpAffine(dilate1, dst, rot_mat, dilate1.size());
for (int i=40;i<600;i++){
    for(int j = 381; j < 480; j++){
        //Vec3b color = dst.at<Vec3b>(Point(100,i));
bool cl=dst.at<char>(j,i);
        if (cl!=0) { // Находим центр тяжести
            x+=i;
                                y+=j;
                                n++;
                            }
    }
}
if(n>0)
{
    y1=y/n;
    x1=x/n;
}
//std::cout << y << std::endl;
y=0;
n=0;
x=0;
std::cout <<"1:"<< x1<< " X " << y1 << std::endl;
//std::cout <<dilate1.cols<< " " << dilate1.rows<< std::endl;
circle(dst,Point(x1,y1),30,Scalar(50,50,255),2);
//-----
for (int i=40;i<600;i++){
    for(int j = 80; j < 180; j++){
        //Vec3b color = dst.at<Vec3b>(Point(100,i));

```

```

bool c11=dst.at<char>(j,i);
    if (c11!=0) { // Находим центр тяжести
        x+=i;
                                y+=j;
                                n++;
        }
    }
}
if(n>0)
{
y2=y/n;
x2=x/n;
}
//std::cout << y << std::endl;
y=0;
n=0;
x=0;
std::cout <<"2:" <<x2<< " X " << y2 << std::endl;
//std::cout <<dilate1.cols<< " " << dilate1.rows<< std::endl;
circle(dst,Point(x2,y2),30,Scalar(50,50,255),2);
//-----
imshow( "result", dst);
    if (waitKey(30) == 27) //wait for 'esc' key press for 30ms. If 'esc' key is pressed,
break loop
    {
        cout << "esc key is pressed by user" << endl;
        break;
    }
}
return 0;
}

```

Приложение Е

(обязательное)

Принципиальная электрическая схема

